



(11) **EP 2 976 184 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
04.10.2017 Patentblatt 2017/40

(51) Int Cl.:
B24B 33/02 ^(2006.01) **B24B 33/08** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14708570.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2014/054542

(22) Anmeldetag: **10.03.2014**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/146919 (25.09.2014 Gazette 2014/39)

(54) **HONVERFAHREN UND HONWERKZEUG**

HONING METHOD AND HONING TOOL

PROCÉDÉ DE RODAGE ET OUTIL DE RODAGE

(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

- **BACHMANN, Oliver**
72636 Frickenhausen (DE)
- **KRANICHSFELD, Florian**
72644 Oberboihingen (DE)
- **RAUSCHER, Herbert**
72555 Metzingen (DE)

(30) Priorität: **18.03.2013 DE 102013204714**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.01.2016 Patentblatt 2016/04

(74) Vertreter: **Patentanwälte**
Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster & Partner mbB
Kronenstraße 30
70174 Stuttgart (DE)

(73) Patentinhaber: **Elgan-Diamantwerkzeuge GmbH & Co. Kg**
72622 Nürtingen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 321 229 EP-A1- 1 815 944
WO-A1-01/76817 DE-A1- 1 652 074

(72) Erfinder:
• **XAVIER, Fabio Antonio**
72622 Nürtingen (DE)

EP 2 976 184 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

HINTERGRUND

[0001] Die Erfindung betrifft ein Honverfahren zur Bearbeitung der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück mithilfe mindestens einer Honoperation gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, sowie ein bei der Durchführung des Honverfahrens verwendbares Honwerkzeug gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 6. Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet ist das Honen von Zylinderlauflächen bei der Herstellung von Zylinderblöcken oder Zylinderlaufbuchsen für Hubkolbenmaschinen.

[0002] Die Zylinderlauflächen in Zylinderblöcken (Zylinderkurbelgehäusen) oder Zylinderlaufbuchsen von Brennkraftmaschinen oder anderen Hubkolbenmaschinen sind im Betrieb einer starken tribologischen Beanspruchung ausgesetzt. Daher kommt es bei der Herstellung von Zylinderblöcken oder Zylinderlaufbuchsen darauf an, diese Zylinderlauflächen so zu bearbeiten, dass später bei allen Betriebsbedingungen eine ausreichende Schmierung durch einen Schmiermittelfilm gewährleistet ist und der Reibwiderstand zwischen sich relativ zueinander bewegenden Teilen möglichst gering gehalten wird.

[0003] Die qualitätsbestimmende Endbearbeitung solcher tribologisch beanspruchbaren Innenflächen erfolgt in der Regel mit geeigneten Honverfahren, die typischer Weise mehrere aufeinanderfolgende Honoperationen umfassen. Das Honen ist ein Zerspanungsverfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden. Bei einer Honoperation wird ein aufweitbares Honwerkzeug innerhalb der zu bearbeitenden Bohrung zur Erzeugung einer Hubbewegung in Axialrichtung der Bohrung mit einer Hubfrequenz auf und ab bzw. hin- und her bewegt und gleichzeitig zur Erzeugung einer der Hubbewegung überlagerten Drehbewegung mit einer Umdrehungsfrequenz gedreht. Die am Honwerkzeug angebrachten Schneidstoffkörper werden über ein Zustellsystem mit einer radial zur Werkzeugachse wirkenden Zustellkraft an die zu bearbeitende Innenfläche angedrückt. Beim Honen entsteht an der Innenfläche ein für die Honbearbeitung typisches Kreuzschliffmuster mit sich überkreuzenden Bearbeitungsspuren, die auch als "Honriefen" bezeichnet werden.

[0004] Mit steigenden Anforderungen an die Sparsamkeit und Umweltfreundlichkeit von Motoren ist die Optimierung des tribologischen Systems Kolben/Kolbenringe/Zylinderlaufläche von besonderer Bedeutung, um geringe Reibung, geringen Verschleiß und geringen Ölverbrauch zu erreichen. Der Reibungsanteil der Kolbengruppe kann bis zu 35% betragen, so dass der Reibungsreduzierung in diesem Bereich wünschenswert ist.

[0005] Es werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, um die mechanischen Verluste eines Motors zu reduzieren. Hierzu gehören u.a. die Nutzung thermisch gespritzter Zylinderlauflächen, die Verwendung beschichteter Kolbenringe, die Entwicklung besonders optimierter Ho-

noberflächen etc..

[0006] Eine Technologie, die für die Reduzierung der Reibung und des Verschleißes immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist die Vermeidung bzw. Reduzierung von Zylinderverzügen bzw. Deformationen des Motorblocks (Zylinderkurbelgehäuses) bei der Montage und/oder im Betrieb. Nach einer konventionellen Honbearbeitung soll eine Zylinderbohrung typischerweise eine Bohrungsform haben, die möglichst wenig, z.B. maximal wenige Mikrometer, von einer idealen Kreiszyylinderform abweicht. Während der Montage oder des Betriebs des Motors kann es jedoch zu deutlichen Formfehlern kommen, die bis zu mehreren Hundertstel Millimeter betragen und die Performance des Motors verringern können. Die Ursachen von Verzügen bzw. Deformationen sind unterschiedlich. Es kann sich um statische oder quasi statische thermische und/oder mechanische Belastungen handeln oder um dynamische Belastungen. Auch die Konstruktion und das Design von Zylinderblöcken haben Einfluss auf die Neigung zu Deformationen. Die Dichtfunktion des Kolbenringpakets wird durch solche schwer kontrollierbaren Deformationen typischerweise verschlechtert, wodurch sich der Blow-by, der Ölverbrauch und auch die Reibung erhöhen können.

[0007] Um Probleme aufgrund von Verzügen bei der Montage oder in bestimmten Betriebszuständen zu verringern, wurde beispielsweise in der DE 28 10 322 C2 vorgeschlagen, den Motorblock für die Honbearbeitung mit Hilfe einer Spanneinrichtung derart zu deformieren, dass die spätere Deformation durch den Zylinderkopf simuliert wird. In dem verspannten Zustand, der dem später nach der Montage vorliegenden Zustand entspricht, findet die Honbearbeitung zur Erzeugung einer kreisförmigen Bohrungsform statt, die sich dann auch nach der Montage wieder einstellen sollte.

[0008] Eine andere Technologie, welche durch eine Invertierung der Zylinderverzüge (Erzeugung einer Negativform des Fehlers) bei der Bearbeitung die Entstehung einer Idealform nach der Montage oder im Betriebszustand des Motors gewährleisten oder annähern soll, ist das sogenannte Formhonen. Dabei wird am unverspannten Werkstück mittels Honen eine von der Kreiszyylinderform definiert abweichende Bohrungsform erzeugt, z.B. eine Kleeblattform. Solche Bohrungsformen sind in der Regel unsymmetrisch, weil auch die Deformationen der Zylinderblocks in der Regel nicht symmetrisch sind. Im Betriebszustand soll sich dabei eine möglichst ideale Kreiszyylinderform ergeben, so dass das Kolbenringpaket über den gesamten Bohrungsumfang gut abdichten kann. Verschiedene Varianten des Formhons werden beispielsweise in der EP 1 790 435 B1 und in dem darin genannten Stand der Technik beschrieben.

[0009] Die EP 1 321 229 A1, die die Basis für die Oberbegriffe der Ansprüche 1 und 6 bildet, beschreibt ein Verfahren zur Herstellung einer Bohrung, die im unbelasteten Zustand eine Ausgangsform aufweist und im Betriebszustand eine von der Ausgangsform abweichende Sollform. Bei dem Verfahren wird die Verformung einer

Bohrung zur Sollform im Betriebszustand ermittelt, mittels der Sollform und der Verformung wird die Ausgangsform ermittelt und die Bohrung wird mit einem Bearbeitungsverfahren in die Ausgangsform gebracht. Bei dem Ausführungsbeispiel ist die Ausgangsform der Bohrung in einem oberen Bereich weitgehend zylindrisch und in einem unteren Bereich elliptisch. Die beiden Bereiche gehen in einen mittleren Übergangsbereich ineinander über. Zur Bearbeitung kommt eine Honmaschine zum Einsatz, die ein bis vier Honsteine hat. Da sich die Bohrungsgeometrie im mittleren Bereich zwischen dem zylindrischen und dem elliptischen Bereich kontinuierlich ändert, kommen Honsteine mit sehr geringer axialer Streckung zum Einsatz.

[0010] Die internationale Patentanmeldung mit Veröffentlichungsnummer WO 01/76817 A1 offenbart ein hydraulisch aufweitbares Honwerkzeug mit einer ringförmigen Schneidgruppe am spindelabgewandten Ende des Honwerkzeugs. Die Schneidbeläge sind am Ende von nach außen aufspreizbaren Zungen angebracht, die einstückig mit dem Werkzeugkörper ausgebildet sind. Die Zungen werden bei der Zustellung zur Vergrößerung des wirksamen Außendurchmessers nach außen aufspreizt.

[0011] Die deutsche Offenlegungsschrift DE 16 52 074 A1 offenbart ein Honwerkzeug mit einer Schneidgruppe, die aus zwei diametral gegenüberliegend angeordneten Honsegmenten mit außenliegenden Rippen besteht, auf denen der Schneidbelag sitzt.

AUFGABE UND LÖSUNG

[0012] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein gattungsgemäßes Honverfahren und ein bei seiner Durchführung verwendbares Honwerkzeug bereitzustellen, die es erlauben, Hubkolbenmaschinen herzustellen, die verbesserte Eigenschaften hinsichtlich Reibungsverlusten, Ölverbrauch und Blow-by haben.

[0013] Zur Lösung dieser Aufgabe stellt die Erfindung ein Honverfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 bereit. Weiterhin wird ein Honwerkzeug mit den Merkmalen von Anspruch 6 bereitgestellt, welches im Rahmen des Honverfahrens verwendet werden kann.

[0014] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

[0015] Bei dem Honverfahren wird eine flaschenförmige Bohrung, d.h. eine Bohrung mit einer Flaschenform, erzeugt. Eine "flaschenförmige Bohrung" hat direkt anschließend an einen Bohrungseintritt einen ersten Bohrungsabschnitt mit einem ersten Durchmesser, entfernt von dem Bohrungseintritt einen zweiten Bohrungsabschnitt mit einem zweiten Durchmesser, der größer als der erste Durchmesser ist, und zwischen dem ersten und dem zweiten Bohrungsabschnitt einen Übergangsabschnitt mit einem kontinuierlichen Übergang vom ersten Durchmesser zum zweiten Durchmesser. Der erste Boh-

rungsabschnitt und der zweite Bohrungsabschnitt haben in der Regel kreiszylindrische Grundform und liegen koaxial zueinander. Der Übergangsabschnitt kann teilweise konisch ausgebildet sein und an seinen den äußeren Bohrungsabschnitten zugewandten Enden jeweils mit geeigneten Radien in die benachbarten Bohrungsabschnitte übergehen.

[0016] Bei geeigneter Auslegung der flaschenförmigen Makroform können wesentliche Vorteile bezüglich Reibungsreduzierung, reduziertem Blow-by sowie reduziertem Ölverbrauch erzielt werden. Weiterhin können sich Verbesserungen bei der Verschleißbeständigkeit des Kolbenringpakets und positive Einflüsse auf die Geräuschentwicklung während des Betriebs ergeben. Im relativ engeren ersten Bohrungsabschnitt nahe dem Bohrungseintritt, also im "Flaschenhals", findet in einer Brennkraftmaschine ein wesentlicher Teil der Verbrennung statt. Ein eventuelles hohes Ölangebot in diesem Abschnitt könnte zu Emissions- und Ölverbrauchproblemen führen. In diesem engeren ersten Bohrungsabschnitt kann das Ringpaket der Kolbenringe seine konventionellen Funktionen (insbesondere die Abdichtung gegen Verbrennungsgase sowie das Abstreifen des Ölfilms in der Rückwärtsbewegung) aufgrund relativ hoher Ringspannung gut erfüllen. Durch die Druckwellen der Verbrennung beschleunigt sich der Kolben im ersten Bohrungsabschnitt und erreicht den Übergangsabschnitt mit sich allmählich vergrößerndem Durchmesser. Im Übergangsabschnitt wird die Kolbenringspannung durch die Vergrößerung des Durchmessers reduziert. Da hier jedoch bereits eine erhebliche Kolbengeschwindigkeit vorliegt und der Innendruck im Zylinderraum nachlässt, werden Blow-by, Ölverbrauchswert und Motorgeräuschemission nicht nachteilig beeinflusst. Durch geeignete Radien zwischen dem Übergangsabschnitt und den daran angrenzenden ersten und zweiten Bohrungsabschnitten kann ein sanfter Einlauf und Auslauf der Kolbenringe am Übergangsabschnitt erreicht werden, so dass Ringverschleiß oder Motorfresser vermieden werden können. In der Abwärtsbewegung erreicht das Ringpaket nach Durchlaufen des Übergangsabschnitts beim Eintritt in den zweiten Bohrungsabschnitt seine niedrigste Spannung, so dass dort, wo der Kolben seine maximale Geschwindigkeit erreicht, der Reibungsverlust automatisch reduziert wird.

[0017] Im Rahmen des Honverfahrens, welches zu einer flaschenförmigen Bohrung mit einsatzoptimaler Oberflächenstruktur führt, wird bei mindestens einer Honoperation ein für diesen Zweck besonders taugliches Honwerkzeug verwendet, welches hier aufgrund seiner Konstruktion auch als "Ringwerkzeug" bezeichnet wird. Ein "Ringwerkzeug" im Sinne dieser Anmeldung hat mindestens eine ringförmige Schneidgruppe mit drei oder mehr um den Umfang des Werkzeugkörpers des Honwerkzeugs verteilten, radial zustellbaren Schneidstoffkörpern, die als in Umfangsrichtung des Honwerkzeugs relativ breite und in Axialrichtung des Honwerkzeugs relativ schmale Honsegmente gestaltet sind. Die in Axi-

alrichtung des Honwerkzeugs gemessene axiale Länge der Honsegmente ist dabei kleiner als die in Umfangsrichtung gemessene Breite und die axiale Länge des mit Schneidstoffkörpern ausgestatteten Schneidbereichs ist kleiner als der wirksame Außendurchmesser des Honwerkzeugs.

[0018] Wenn mindestens drei Honsegmente vorgesehen sind, so können die Bearbeitungskräfte über den gesamten durch radiale Zustellung verfügbaren wirksamen Außendurchmesserbereich des Honwerkzeugs gut und relativ gleichmäßig über den Umfang verteilt werden. Es können z.B. in einer Schneidgruppe genau drei, genau vier, genau fünf oder genau sechs Honsegmente gleicher oder unterschiedlicher Umfangsbreite vorgesehen sein. Mehr als sechs Honsegmente innerhalb einer Schneidgruppe sind zwar möglich, machen die Konstruktion aber komplizierter und sind in der Regel nicht erforderlich.

[0019] Durch die radiale Zustellbarkeit (Verschiebung der Honsegmente in Radialrichtung bei der Zustellung) kann erreicht werden, dass die Eingriffsbedingungen zwischen Schneidstoffkörper und Bohrungsinnenfläche unabhängig vom eingestellten Durchmesser praktisch konstant bleiben. Durch Vermeidung von Schneidstoffkörper-Verkippung während der radialen Zustellung kann ungleichmäßiger Verschleiß vermieden werden.

[0020] Diese Maßnahmen können sich einzeln und in Kombination positiv auf die erzielbare Oberflächenqualität auswirken, insbesondere bezüglich der Gleichmäßigkeit der Oberflächenqualität über unterschiedliche Bohrungsabschnitte.

[0021] Die axiale Länge der Honsegmente kann z.B. bei weniger als 30% des wirksamen Außendurchmessers des Honwerkzeugs liegen, insbesondere zwischen 10% und 20% dieses Außendurchmessers. Bei Ringwerkzeugen für die Bearbeitung typischer Zylinderbohrungen in Motorblöcken für PKW oder LKW kann die axiale Länge z.B. im Bereich von 5 mm bis 20 mm liegen. Bezogen auf die Bohrungslänge einer zu bearbeitenden Bohrung liegt die axiale Länge typischerweise bei weniger als 10% dieser Bohrungslänge. Werden die oberen Grenzen deutlich überschritten, so leidet in der Regel die Möglichkeit zur axialen Konturverfolgung bzw. Konturerzeugung. Außerdem sind geringe axiale Längen vorteilhaft, um einen ausreichenden Flächendruck für die Bearbeitung zu erzeugen. Andererseits ist eine Mindestlänge in Axialrichtung vorteilhaft, um zur Bearbeitung der Bohrungsenden einen Honüberlauf zu ermöglichen und um eine Kippneigung des Honwerkzeugs zu begrenzen.

[0022] Ein derartiges Ringwerkzeug stellt eine Abkehr von konventionellen Konzepten der Honwerkzeugauslegung dar, welche davon ausgehen, dass zur Erzielung geringer Formfehler einer gehonten Bohrung Honwerkzeuge mit in Axialrichtung relativ langen, in Umfangsrichtung dagegen relativ schmalen Honleisten verwendet werden sollten. Ein Ringwerkzeug ist besonders gut an die Bearbeitung von flaschenförmigen Bohrungsformen bzw. allgemein von Bohrungsformen mit in Axialrichtung signifikant variierendem Bohrungsdurchmesser ange-

passt. In einer ringförmigen Schneidgruppe ist der Schneidstoff (gebundene Schneidkörner geeigneter Körnung, Dichte und Härte) in einem axial relativ schmalen Ring konzentriert, wobei typischerweise mehr als die Hälfte des Umfangs einer ringförmigen Schneidgruppe mit Schneidmittel besetzt ist und dementsprechend wirksam zum Materialabtrag beiträgt.

[0023] Der Schneidbereich, in dem eine oder mehrere ringförmige Schneidgruppen liegen, ist im Vergleich zum wirksamen Außendurchmesser des Honwerkzeugs in Axialrichtung kurz bzw. schmal, wodurch die Erzeugung und/oder Verfolgung einer in Axialrichtung verlaufenden Kontur möglich wird.

[0024] Eine ringförmige Schneidgruppe zeichnet sich im Vergleich zu konventionellen Honleisten dadurch aus, dass in dem von der ringförmigen Schneidgruppe abgedeckten axialen Abschnitt wesentlich mehr Kontaktfläche zwischen Schneidstoffkörpern und Bohrungsinnenfläche existiert als in einem vergleichbar schmalen axialen Abschnitt eines konventionellen Honwerkzeugs. Bei manchen Ausführungsformen sind an einer ringförmigen Schneidgruppe mehr als 60% des Umfangs mit Schneidmittel belegt, eventuell sogar mehr als 70% oder mehr als 80% des Umfangs des Honwerkzeugs.

[0025] Vorzugsweise ist eine Schneidgruppe derart in der Nähe eines spindelabgewandten Endes des Werkzeugkörpers angeordnet, dass sich die Schneidgruppe ausschließlich in der spindelabgewandten Hälfte des Werkzeugkörpers befindet. Wenn mehrere ringförmige Schneidgruppen vorgesehen sind, kann diese Bedingung für alle Schneidgruppen gelten. Eine Anordnung nahe am spindelfernen Ende ermöglicht u.a. Bearbeitungen mit sehr geringem Honüberlauf.

[0026] Bei der Honbearbeitung kann die Hubposition des Honwerkzeugs innerhalb der Bohrung als Leitgröße genutzt werden, um mit hoher örtlicher Auflösung den Anpressdruck bzw. die Zustellkraft als Funktion der Hubposition der ringförmigen Schneidgruppe vorzugeben. Dadurch ist es möglich, mit Hilfe einer zustellbaren ringförmigen Schneidgruppe eine Bohrung mit axial veränderlicher Kontur zu erzeugen oder auch einer bereits vorher erzeugten axial variierenden Kontur ohne unerwünschte Andruckkraftspitzen zu folgen. Bei Verwendung eines Ringwerkzeugs kann in allen axialen Bereichen der Bohrung mit im Wesentlichen gleicher Überdeckung gearbeitet werden, so dass bei Bedarf sehr gleichmäßige Rauheitsbilder bzw. Oberflächenstrukturen erzeugt werden können. Bei Verwendung eines Ringwerkzeugs kann gegebenenfalls auch mit sehr geringem Honüberlauf an den axialen Enden einer Bohrung gearbeitet werden, ohne dass Probleme mit ungleichmäßigem Schneidkörperverschleiß auftreten.

[0027] Vorzugsweise wird mit einem elektromechanischen Schneidgruppen-Zustellsystem gearbeitet. Im Gegensatz zu einer hydraulischen Aufweitung ist dadurch eine präzise Vorgabe des Zustellwegs (Wegsteuerung) möglich, wodurch eine axiale Kontur gezielt erzeugt und/oder eine vorgegebene axiale Kontur präzise

verfolgt werden kann.

[0028] An dem Honwerkzeug können ein oder mehrere Sensoren eines Durchmessermesssystems angeordnet sein, so dass eine in-prozess-Durchmessermessung möglich ist. Beispielsweise können zwischen benachbarten Honsegmenten am Werkzeugkörper jeweils Messdüsen eines pneumatischen Durchmessermesssystems angebracht sein. Hierdurch kann die Präzision der erzielbaren Bohrungskonturen verbessert werden.

[0029] Durch Verwendung eines Ringwerkzeugs sind ein gleichmäßiger Verschleiß der Schneidstoffkörper und sehr gute Formwerte sowie gleichmäßige Oberflächenrauheiten der Bohrung über die gesamte Standzeit der ringförmigen Schneidgruppe gewährleistet.

[0030] Es sind unterschiedliche Ausgestaltungen von Ringwerkzeugen möglich, zwischen denen ein Nutzer in Abhängigkeit von der zu bewältigenden Bearbeitungsaufgabe auswählen kann.

[0031] Bei manchen Ausführungsformen hat das Ringwerkzeug eine einzige ringförmige Schneidgruppe, deren Honsegmente über ein einziges gemeinsames Zustellsystem radial zugestellt bzw. zurückgezogen werden können. Typischerweise hat die ringförmige Schneidgruppe drei oder mehr gleichmäßig oder ungleichmäßige über den Umfang des Honwerkzeugs verteilte Honsegmente, in der Regel nicht mehr als sechs. Vorzugsweise ist die einzige ringförmige Schneidgruppe in der Nähe des spindelabgewandten freien Endes des Werkzeugkörpers angeordnet, z.B. bündig mit der spindelabgewandten Stirnseite. Derartige Konstruktionen sind besonders gut für die Bearbeitung von Zylinderbohrungen mit reduziertem Honüberlauf geeignet. Derartige Einschränkungen bei der Bearbeitung ergeben sich beispielsweise bei Sacklochbohrungen oder bei Zylinderbohrungen in Motorblöcken für Monoblock- oder V-Motoren.

[0032] Es ist auch möglich, dass eine ringförmige Schneidgruppe zwei unabhängig voneinander zustellbare Gruppen von Honsegmenten aufweist, wobei die Honsegmente der Gruppen in Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind. Hierdurch ist es möglich, die Vorteile einer einzigen ringförmigen Schneidgruppe (beispielsweise hinsichtlich der Bearbeitung von Bohrungen mit kurzem Honüberlauf) mit den Vorteilen einer Doppeltstellung zweier voneinander unabhängiger Gruppen von Honsegmenten zu kombinieren. Mit einem derartigen Werkzeug können zwei aufeinanderfolgende Honoperationen mit unterschiedlichen Schneidstoffen ohne zwischengeschalteten Werkzeugwechsel durchgeführt werden. Die Honsegmente einer Gruppe von Honsegmenten haben normalerweise den gleichen Schneidbelag, während die Gruppen untereinander unterschiedliche Schneidbeläge haben, beispielsweise Diamantbeläge unterschiedlicher Körnung.

[0033] Es ist auch möglich, dass ein Ringwerkzeug eine erste ringförmige Schneidgruppe und mindestens eine zweite ringförmige Schneidgruppe aufweist, die axial versetzt zur ersten ringförmigen Schneidgruppe ange-

ordnet ist und unabhängig von der ersten ringförmigen Schneidgruppe zugestellt werden kann. Auch hierdurch sind zwei aufeinanderfolgende Honoperationen mit unterschiedlichen Schneidstoffen ohne zwischengeschalteten Werkzeugwechsel möglich. Da die unterschiedlichen Schneidstoffe auf die mindestens zwei axial gegeneinander versetzt liegenden ringförmigen Schneidgruppen verteilt sind, die jeweils einen großen Teil des Umfangs des Honwerkzeugs abdecken können, sind hier in beiden Honoperationen besonders hohe Abtragsleistungen bzw. relativ kurze Honzeiten möglich. Derartige Ringwerkzeuge können für alle Bohrungen eingesetzt werden, die genügend Honüberlauf erlauben. Mit zwei oder mehr ringförmigen Schneidgruppen ist auch eine Überbrückung von Pulsationsfenstern oder Querbohrungen bzw. Bohrungsunterbrechungen jeglicher Art besonders einfach möglich. Ein solches Ringwerkzeug hat vorzugsweise genau zwei ringförmige Schneidgruppen, wodurch trotz einfachem Aufbau ein flexibler Einsatz möglich ist.

[0034] Bei bevorzugten Ausführungsformen ist am Werkzeugkörper ein integriertes, mehrachsrig bewegliches Gelenk, z.B. ein Kugelgelenk oder ein kardanisches Gelenk, vorgesehen. So können Positionsfehler der Maschine und/oder ein Kernversatz der Bohrung ausgeglichen werden, ohne die Bohrungsposition zu verändern. Ausführungsbeispiele ohne Gelenk sind auch möglich. Derartige Ringwerkzeuge können starr an eine Honspindel oder eine starr mit der Honspindel gekoppelte Antriebsstange angekoppelt werden.

[0035] Die Flaschenform der Bohrung kann durch jedes geeignete spanabhebende Bearbeitungsverfahren erzeugt werden, beispielsweise durch Feindreihen (Feinspindeln), also mit Hilfe eines Bearbeitungsverfahrens mit geometrisch bestimmter Schneide, oder durch Honen. Daran können sich eine oder mehrere Honoperationen anschließen, um zur endgültig gewünschten Bohrungsgeometrie mit geeigneter Oberflächenstruktur zu gelangen.

[0036] Vorzugsweise wird zunächst durch Feindreihen oder Honen eine Bohrung mit kreiszylindrischer Bohrungsform erzeugt und danach wird in einer Flaschenhonoperation durch Honen mit axial variierendem Honabtrag eine flaschenförmige Bohrungsform erzeugt. Im Vergleich zum Feindreihen können durch Honen Oberflächen mit besonders gleichmäßiger Oberflächenqualität ohne umlaufende Spuren erzeugt werden. Zur Gleichmäßigkeit der Oberflächenqualität trägt auch der Selbstschärfungseffekt der Schneidstoffkörper bei. Beim Honen ist eine kontinuierliche Prozessüberwachung möglich.

[0037] Bei einer Verfahrensvariante wird bei der Flaschenhonoperation ein aufweitbares Honwerkzeug mit mindestens einer ringförmigen Schneidgruppe verwendet, also ein Ringwerkzeug. Dabei werden Honsegmente der Schneidgruppe in einem Abwärtshub entsprechend der Flaschenform in Abhängigkeit von Hubposition, weg- und/oder kraftgesteuert radial nach außen zugestellt und

bei einem Aufwärtshub entsprechend der Flaschenform in Abhängigkeit von der Hubposition radial zurückgezogen. Durch diese Bearbeitungsvariante ergibt sich im besonders schwierig zu bearbeitenden Übergangsabschnitt von Anfang an ein relativ glatter Konturverlauf.

[0038] Alternativ ist es auch möglich, dass bei der Flaschenhonoperation ein aufweitbares Honwerkzeug mit Honleisten verwendet wird, deren Länge mehr als 50% der Länge der Bohrung beträgt. Die Länge der Honleisten kann beispielsweise zwischen 50% und 80% der Länge der Bohrung betragen. Bei der Flaschenhonoperation wird dann in einer ersten Phase das Honwerkzeug in einer ersten Hublage zwischen einem oberen und einem unteren Umsteuerpunkt auf und ab bzw. hin- und her bewegt, um die Bohrung zunächst auf ihrer gesamten Länge in eine kreiszylindrische Form zu bringen. Danach wird in einer zweiten Phase der obere Umsteuerpunkt inkrementell, d.h. über mehrere Hübe hinweg, in Richtung des unteren Umsteuerpunkts verändert, so dass sich die Hublänge allmählich reduziert. Dadurch ergibt sich eine Verlagerung der Hublage in Richtung einer zweiten Hublage, die im Bereich des zweiten Bohrungsabschnitts liegt. Danach wird in einer dritten Phase das Honwerkzeug in der zweiten Hublage hin- und her bewegt. Bei dieser Verfahrensvariante entsteht die Grundform des Übergangsabschnitts im Wesentlichen während der zweiten Phase der allmählichen Hublagenverlagerung und Hubhöhenreduzierung, wobei gleichzeitig und auch in der dritten Phase noch die Durchmesserergrößerung im zweiten Bohrungsabschnitt erzeugt wird.

[0039] Wenn die Flaschenhonoperation mittels eines Honwerkzeugs mit relativ langen Honleisten durchgeführt wird, kann im Übergangsabschnitt eine relativ raue Oberflächenstruktur mit einem Profil ähnlich einem Sägeprofil entstehen. Um die erwünschte gleichmäßige Oberflächenstruktur auch im Übergangsabschnitt zu erhalten, wird daher vorzugsweise nach der Flaschenhonoperation eine Glatthonoperation zur Glättung des Bohrungsprofils im Übergangsbereich durchgeführt, wobei bei der Glättungshonoperation ein Ringwerkzeug verwendet wird, also ein aufweitbares Honwerkzeug mit mindestens einer ringförmigen Schneidgruppe. Mit Hilfe des Ringwerkzeugs können Rillen oder Grate im Übergangsabschnitt beseitigt und die Radien des Übergangsabschnitts verrundet werden.

[0040] Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn bei der Glättungshonoperation die Schneidstoffkörper der ringförmigen Schneidgruppe mit konstanter Zustellkraft an die Innenfläche der Bohrung gedrückt werden. Dies wird bei manchen Verfahrensvarianten dadurch erreicht, dass eine Honmaschine mit einem hydraulischen Zustellsystem für das Ringwerkzeug verwendet wird. Die Verfolgung der Kontur der flaschenförmigen Bohrung durch die Honsegmente des Ringwerkzeugs kann sich dabei schon aus der bauartbedingten Nachgiebigkeit der hydraulischen Aufweitung ergeben.

[0041] Die Erfindung betrifft auch ein Honwerkzeug, welches besonders zur Durchführung des Honverfahrens

geeignet ist, aber auch bei anderen, nicht erfindungsgemäßen Honverfahren verwendet werden kann.

[0042] Die Erfindung betrifft auch ein Werkstück mit mindestens einer Bohrung, die eine gehonte Innenfläche aufweist, wobei die Bohrung eine flaschenförmige Bohrung ist, die anschließend an einen Bohrungseintritt einen ersten Bohrungsabschnitt mit einem ersten Durchmesser, entfernt von dem Bohrungseintritt einen zweiten Bohrungsabschnitt mit einem zweiten Durchmesser, der größer als der erste Durchmesser ist, und zwischen dem ersten und dem zweiten Bohrungsabschnitt einen Übergangsabschnitt mit einem kontinuierlichen Übergang vom ersten zum zweiten Durchmesser aufweist, wobei das Werkstück unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Honwerkzeugs bearbeitet wurde.

[0043] Insbesondere kann es sich bei dem Werkstück um einen Zylinderblock oder eine Zylinderlaufbuchse für eine Hubkolbenmaschine handeln. Bei der Hubkolbenmaschine kann es sich z.B. um eine Brennkraftmaschine (Verbrennungsmotor) oder um einen Kompressor handeln.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0044]

Fig. 1 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch eine flaschenförmige Zylinderbohrung in einem Motorblock;

Fig. 2 zeigt in 2A einen Längsschnitt durch eine Ausführungsform eines Ringwerkzeugs mit einfacher Aufweitung einer einzigen ringförmigen Schneidgruppe sowie in 2B einen Querschnitt durch die Schneidgruppe;

Fig. 3 zeigt in 3A einen Längsschnitt durch eine Ausführungsform eines Ringwerkzeugs mit doppelter Aufweitung einer einzigen ringförmigen Schneidgruppe sowie in 3B einen Querschnitt durch die Schneidgruppe;

Fig. 4 zeigt in 4A einen Längsschnitt durch eine Ausführungsform eines Ringwerkzeugs mit doppelter Aufweitung bei zwei übereinander angeordneten ringförmigen Schneidgruppen sowie in 4B einen Querschnitt durch eine der Schneidgruppen;

Fig. 5 zeigt schematisch einen Längsschnitt durch eine Bohrung, die mittels eines Honwerkzeugs mit relativ langen Honleisten bearbeitet wird;

Fig. 6 zeigt schematisch die Hubposition eines Honwerkzeugs mit langen Honleisten als Funktion der Honzeit t bei der Flaschenhonoperation.

Fig. 7 zeigt ein Messdiagramm eines abgerundeten Profils eines flaschenförmigen Zylinders nach dem

Einsatz eines Ringwerkzeuges.

Fig. 8 zeigt ein schematisches Diagramm, welches die Abhängigkeit der Hubposition HP (durchgezogene Linie) und der Aufweitposition AP (gestrichelte Linie) als Funktion der Honzeit t bei einem zweiten Ausführungsbeispiel zeigt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0045] Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele von Honverfahren und Honwerkzeugen beschrieben, die im Rahmen von Ausführungsformen der Erfindung bei der materialabtragenden Bearbeitung von Werkstücken verwendet werden können, die eine oder mehrere Bohrungen aufweisen, welche im fertig bearbeiteten Zustand die Makroform einer Flasche haben sollen.

[0046] Fig. 1 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch eine solche flaschenförmige Bohrung 110 in einem Werkstück 100 in Form eines Motorblocks (Zylinderkurbelgehäuses) für eine Brennkraftmaschine. Die Bohrung ist in Bezug auf ihre Bohrungsachse 112 rotationssymmetrisch und erstreckt sich über eine Bohrungslänge L von einem im Einbauzustand dem Zylinderkopf zugewandten Bohrungseintritt 114 bis zum Bohrungsaustritt 116 an gegenüberliegenden Ende. Die Bohrung kann in drei aneinander angrenzende Abschnitte unterschiedlicher Funktion unterteilt werden, die gleitend, d.h. ohne Bildung von Stufen oder Kanten, ineinander übergehen.

[0047] Ein erster Bohrungsabschnitt 120 am eintrittsseitigen Ende hat einen ersten Durchmesser $D1$ und eine erste Länge $L1$. Am gegenüberliegenden austrittsseitigen Ende erstreckt sich über eine zweite Länge $L2$ ein zweiter Bohrungsabschnitt 130, dessen Innendurchmesser (zweiter Durchmesser) $D2$ größer als der erste Durchmesser $D1$ ist. Zwischen dem ersten Bohrungsabschnitt 120 und dem zweiten Bohrungsabschnitt 130 befindet sich ein teilweise konischer Übergangsabschnitt 140, in dem ein kontinuierlicher Übergang vom ersten Durchmesser zum zweiten Durchmesser erfolgt. Zwischen dem mittleren, im Wesentlichen konischen Teil des Übergangsabschnitts und dem ersten Bohrungsabschnitt wird ein erster Radius $R1$ gebildet, während zwischen dem Übergangsabschnitt und dem zweiten Bohrungsabschnitt ein zweiter Radius $R2$ gebildet wird. Die Radien $R1$ und $R2$ können im Wesentlichen gleich sein, es ist jedoch auch möglich, dass der erste Radius kleiner oder größer als der zweite Radius ist.

[0048] Bei typischen Bohrungsgeometrien kann die erste Länge $L1$ beispielsweise zwischen 15% und 40% der Bohrungslänge L betragen. Die zweite Länge $L2$ ist typischerweise größer als die erste Länge und liegt häufig zwischen 40% und 60% der Bohrungslänge L . Der Übergangsabschnitt ist gegenüber den daran angrenzenden Bohrungsabschnitten normalerweise relativ kurz. Typische dritte Längen $L3$ können im Bereich von 5% bis 20% der Bohrungslänge L liegen. Auch Abwei-

chungen von diesen geometrischen Verhältnissen sind möglich.

[0049] Der Durchmesserunterschied zwischen dem ersten Durchmesser $D1$ und dem zweiten Durchmesser $D2$ liegt deutlich außerhalb der für die Honbearbeitung typischen Toleranzen, die für eine Zylinderform in der Größenordnung von maximal $10\text{ }\mu\text{m}$ (bezogen auf den Durchmesser) liegen. Bei einem Absolutwert des Innendurchmessers in der Größenordnung zwischen 70 mm und 150 mm kann der Durchmesserunterschied beispielsweise zwischen $20\text{ }\mu\text{m}$ und $90\text{ }\mu\text{m}$ liegen.

[0050] Die Radien $R1$, $R2$, die Längen der äußeren Bohrungsabschnitte und des Übergangsabschnitts und der Tangentenwinkel T zwischen der Bohrungsachse und einer Tangente an den Übergangsabschnitt können so optimiert sein, dass sich in typischen Betriebszuständen des Motors geringer Blow-by, geringer Ölverbrauch und geringer Verschleiß der Kolbenringe ergeben.

[0051] Die Flaschenform der Bohrung führt dazu, dass die Bohrung im eintrittsnahen Bereich vergleichsweise eng ist, so dass die Kolbenringe des in der Bohrung laufenden Kolbens unter hoher Ringspannung an die Bohrungsinnenfläche 118 gedrückt werden. Dadurch wird dort, wo die Verbrennung hauptsächlich erfolgt und hohe Drücke auftreten, eine zuverlässige Abdichtung erreicht und der Ölfilm wird im Abwärtshub abgestreift. Der durch die Verbrennung beschleunigte Kolben bewegt sich dann Richtung Bohrungsaustritt, wobei die Kolbenringe zunächst den Übergangsabschnitt mit dem sich kontinuierlich erweiterten Innendurchmesser und anschließend den zweiten Bohrungsabschnitt (teilweise) durchlaufen. Im Übergangsabschnitt können sich die Kolbenringe allmählich entspannen, wobei die Abdichtung ausreichend bleibt, weil die Druckdifferenz an den Kolbenringen sinkt. Zu Beginn des zweiten Bohrungsabschnitts erreicht das Ringpaket seine niedrigste Spannung, so dass gerade im Bereich maximale Kolbengeschwindigkeit Reibungsverluste durch verringerte Ringspannung reduziert werden. Beim Aufwärtshub nimmt die Ringspannung dann wieder zu, sobald die Kolbenringe den austrittsseitigen Radius des Übergangsabschnitts erreichen und diesen in Richtung des ersten Bohrungsabschnitts durchlaufen.

[0052] Ein Feinbearbeitungsprozess, der eine solche Bohrung sowohl hinsichtlich der Makroform (Flaschenform) als auch hinsichtlich der Oberflächenstruktur der tribologisch beanspruchten Bohrungsinnenfläche in hoher Qualität wirtschaftlich erzeugen kann, umfasst bei Ausführungsformen der Erfindung mindestens eine Honoperation, bei welcher ein Honwerkzeug besonderer Konstruktion verwendet wird, welches in dieser Anmeldung auch als "Ringwerkzeug" bezeichnet wird. Ein Ringwerkzeug hat mindestens eine ringförmig am Werkzeugkörper angebrachte Schneidgruppe mit um den Umfang des Werkzeugkörpers verteilten Schneidstoffkörpern, die mittels eines zugeordneten Zustellsystems in Radialrichtung zugestellt beziehungsweise zurückgezogen werden können. Die Schneidstoffkörper sind als Honsegmente gestaltet, deren Breite in Umfangsrich-

tung deutlich größer ist als ihre Länge in Axialrichtung. Die für den Materialabtrag an Werkstück zuständigen Schneidstoffkörper sind in einer axial relativ schmalen Zone (einem Ring der Schneidgruppe) konzentriert und nehmen einen relativ großen Anteil des Umfangs des Honwerkzeugs ein. Dadurch können mit relativ hoher Materialabtragsleistung Bohrungsformen erzeugt werden, bei denen in Axialrichtung Bohrungsabschnitte unterschiedlicher Durchmesser aneinander angrenzen.

[0053] Fig. 2 zeigt in 2A einen Längsschnitt durch eine Ausführungsform eines Ringwerkzeugs 200 mit einer einzigen ringförmigen Schneidgruppe 220 und einfacher Aufweitung. Fig. 2B zeigt einen Querschnitt durch die Schneidgruppe. Das Ringwerkzeug 200 hat einen Werkzeugkörper 210, der eine Werkzeugachse 212 definiert, die gleichzeitig die Rotationsachse des Ringwerkzeugs während der Honbearbeitung ist. Am spindelseitigen Ende des Ringwerkzeugs (in Fig. 2A oben) befindet sich eine nicht näher dargestellte Kupplungsstruktur zum Ankoppeln des Ringwerkzeugs an eine Antriebsstange einer Honmaschine oder einer anderen Bearbeitungsmaschine, welche eine Arbeitsspindel hat, die sowohl um die Spindelachse drehbar als auch parallel zur Spindelachse oszillierend hin- und her bewegbar ist.

[0054] Am spindelabgewandten Ende des Werkzeugkörpers (in Fig. 2A unten) befindet sich die ringförmige Schneidgruppe 220, die mehrere (im Beispielsfall drei) gleichmäßig über den Umfang des Werkzeugkörpers verteilte Schneidstoffkörper 220-1, 220-2, 220-3 aufweist, welche mithilfe eines Schneidstoffkörper-Zustellsystems radial zur Werkzeugachse 212 nach außen zugestellt werden können, um die abrasiv wirkenden Außenseiten des Schneidstoffkörpers mit einer definierten Andrückkraft bzw. Anpresskraft an die Innenfläche einer zu bearbeitenden Bohrung anzudrücken. Jeder der drei bogenförmig gekrümmten Schneidstoffkörper ist als ein in Umfangsrichtung sehr breites, in Axialrichtung dagegen schmales Honsegment gestaltet, welches ein Umfangswinkelbereich zwischen 115° und 120° abdeckt. Die Honsegmente sind vom Werkzeugkörper entkoppelt und relativ zu diesem radial zur Werkzeugachse 212 verschiebbar. Der durch die Honsegmente gebildete Ring schließt am spindelabgewandten Seite bündig mit dem Werkzeugkörper ab, so dass der Ring vollständig innerhalb der spindelabgewandten Hälfte des Werkzeugkörpers am spindelabgewandten Ende des Ringwerkzeugs sitzt.

[0055] Die axiale Länge LHS der Honsegmente liegt bei weniger 15%, insbesondere bei weniger als 10% der Bohrungslänge L. Die Honsegmente sind ca. 4 mm bis 35 mm, insbesondere ca. 10 mm hoch (in Axialrichtung), was im Beispielsfall zwischen 5% und 30%, insbesondere zwischen 10% und 20% des wirksamen Außendurchmessers der Schneidgruppe entspricht. Die axiale Länge LHS entspricht hier gleichzeitig der axialen Länge des gesamten Schneidbereichs des Honwerkzeugs.

[0056] Jeder Schneidstoffkörper ist an einer Außenseite einer zugeordneten Tragleiste 224-1, 224-2 aus

Stahl durch Löten befestigt. Alternativ kann der Schneidstoffkörper auch durch Kleben oder mittels Schrauben befestigt werden, wodurch eine leichtere Auswechslung möglich ist. Jede Tragleiste hat an ihrer Innenseite eine Schrägfläche, die mit einer konischen Außenfläche eines axial verschiebbaren Zustellkonus 232 in der Weise zusammenwirkt, dass die Tragleisten mit den davon getragenen Schneidstoffkörpern nach radial außen zugestellt werden, wenn der Zustellkonus mittels einer maschinenseitigen Zustellvorrichtung gegen die Kraft von Rückholfedern 234, 226, 228 in Richtung des spindelabgewandten Endes des Ringwerkzeugs gedrückt wird. Bei entgegengesetzter Zustellbewegung werden die Tragleisten mit den Honsegmenten mit Hilfe umlaufender Rückholfedern 226, 228 nach radial innen zurückgeholt. Die radiale Position der Schneidstoffkörper wird dadurch spielfrei über die axiale Position des Zustellkonus 232 gesteuert.

[0057] Dieses Werkzeugkonzept ist besonders geeignet für die Bearbeitung von Zylinderbohrungen mit reduziertem Honüberlauf, beispielsweise mit maximal 5 mm Honüberlauf. Derartige Geometrien treten typischerweise bei Sacklochbohrungen oder im Monoblock- oder V-Motoren auf.

[0058] In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel eines Ringwerkzeugs 300 gezeigt, welches ebenfalls eine einzige ringförmige Schneidgruppe 320 aufweist, die am spindelabgewandten, stirnseitigen Ende des Werkzeugkörpers 310 angeordnet ist. Fig. 3A zeigt einen Längsschnitt durch das Ringwerkzeug, Fig. 3B einen Querschnitt durch die Schneidgruppe. Im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel von Fig. 2 handelt es sich aber um Honwerkzeug mit Doppelaufweitung. Die ringförmige Schneidgruppe 320 hat zwei unabhängig voneinander zustellbare Gruppen von Honsegmenten, wobei die Honsegmente der Gruppen jeweils in Umfangsrichtung abwechselnd zueinander angeordnet sind. Eine erste Gruppe von Honsegmenten hat drei um jeweils 120° umfangsversetzt zueinander angeordnete erste Honsegmente 320-1. Jeweils dazwischen sind drei zweite Honsegmente 320-2 einer zweiten Gruppe von Honsegmenten angeordnet. Die erste Gruppe hat Schneidstoffkörper mit einem relativ groben Schneidbelag, während die zweite Gruppe Schneidstoffkörper mit einem relativ dazu feineren Schneidbelag aufweist. Zwischen unmittelbar benachbarten Honsegmenten sind jeweils axiale Führungsleisten 326 angeordnet. Zwischen dem Werkzeugkörper 310 und der zur Ankopplung des Honwerkzeugs an eine Arbeitsspindel o.dgl. vorgesehenen Kupplungsstruktur 340 ist ein Kugelgelenk 350 vorgesehen, so dass das Honwerkzeug gegenüber der Honspindel in mehreren Achsen begrenzt beweglich ist.

[0059] Die ersten Honsegmente können mit Hilfe eines ersten Zustellsystems radial zugestellt werden. Zu diesem gehört eine zentrisch am Werkzeugkörper verlaufende erste Zustellstange 332-I, die am spindelabgewandten Ende einen konischen Abschnitt hat, der mit den Schrägflächen von Tragleisten der ersten Gruppe

von Honsegmenten zusammenwirkt. Ein zweites Zustellsystem dient der Zustellung der zweiten Gruppe von Honsegmenten und weist ein rohrförmiges Zustellelement 332-A auf, welches die Zustellstange 332-I umschließt und an ihrem spindelabgewandten Ende eine konische Außenfläche hat, die mit Schrägflächen an den Tragleisten der zweiten Honsegmente zusammenwirkt.

[0060] Mit Hilfe des ersten Zustellsystems können die drei Honsegmente der ersten Gruppe von Honsegmenten aufgeweitet werden, um eine bestimmte Honoperation, beispielsweise eine Glatthonoperation oder eine Strukturhonoperation, durchzuführen. Wird stattdessen die andere Gruppe von Honsegmenten zugestellt, die eine andere Schneidbelagsorte aufweisen, kann eine andere Honoperation, beispielsweise eine Entgrathonoperation oder eine Plateauhonoperation, durchgeführt werden. Mit Hilfe des Ringwerkzeuges mit Doppelaufweitung können zwei unterschiedliche Honoperationen nacheinander durchgeführt werden, ohne zwischenzeitlich einen Werkzeugwechsel vorzunehmen oder eine andere Honspindel zur Bearbeitung zu nutzen.

[0061] Fig. 4 zeigt in 4A einen schematischen Längsschnitt durch eine Ausführungsform eines Ringwerkzeuges 400 mit Doppelaufweitung, welches im Unterschied zum Ausführungsbeispiel von Fig. 3 zwei ringförmige Schneidgruppen 420-1 und 420-2 aufweist, die axial versetzt zueinander im spindelabgewandten Teil des Werkzeugkörpers 410 angebracht sind. Jede der ringförmigen Schneidgruppe (Querschnitt in Fig. 4B) hat drei gemeinsame zustellbare Honsegmente, die jeweils zwischen ca. 110° und 115° des Umfangs abdecken. Die axiale Länge der Honsegmente ist demgegenüber klein und beträgt typischerweise weniger als 10% der Bohrungslänge und/oder zwischen 10% und 20% des wirkamen Außendurchmessers des Honwerkzeugs im Bereich der Schneidstoffkörper. Zwischen benachbarten Honsegmenten sind am Werkzeugkörper jeweils Messdüsen 440 eines pneumatischen Durchmessermeßsystems angebracht. Die Schneidgruppen liegen axial nahe beieinander, so dass der Schneidbereich des Honwerkzeugs, in welchem die beiden ringförmigen Schneidgruppen liegen, in Axialrichtung wesentlich kürzer ist als der wirksame Außendurchmesser des Honwerkzeugs.

[0062] Bei manchen Ausführungsformen sind die Schneidstoffkörper in Bezug auf den Werkzeugkörper elastisch nachgiebig gelagert. Dadurch kann ggf. die Fähigkeit zur Konturverfolgung bei Axialbewegung verbessert werden. Beispielsweise können zwischen den Trägerelementen und den Schneidstoffkörpern Federelemente (z.B. Blattfedern, Spiraldruckfedern der dergleichen) zwischengeschaltet sein. Es ist auch möglich, die Trägerelemente in sich elastisch nachgiebig zu gestalten, z.B. indem an geeigneten Stellen Schwächungen des Trägermaterialquerschnitts in Form von Schlitzten oder dergleichen konstruktiv vorgesehen sind.

[0063] Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, unter Verwendung von einem oder mehreren Ringwerkzeugen der in dieser Anmeldung beschriebenen Art flaschenförmige Bohrungen mit einer gewünschten Oberflächenstruktur der Bohrungsinnenfläche herzustellen. Ein erstes Ausführungsbeispiel wird im Zusammenhang mit den Fig. 5 und 6 beschrieben.

[0064] Bei dieser Verfahrensvariante wurde zunächst ein konventionelles Honwerkzeug mit axial relativ langen, schmalen Honleisten verwendet, um ausgehend von einer z.B. durch Feinbohren vorbehandelten Bohrung eine gehonte Bohrung mit Kreiszylinderform zu erzeugen. Die axiale Leistenlänge l betrug dabei ca. $1/2$ bis $2/3$ der gesamten Bohrungslänge L . Bei einer ersten Honoperation (Vorhonen) wurde mit Diamantleisten vom Typ D107 gearbeitet, eine anschließende Zwischenhonoperation wurde mit feiner Körnung (Körnung D54) durchgeführt. Dadurch wurde eine im Wesentlichen kreiszylindrische Bohrungsform mit geringer Abweichung zur Idealform und mit einer relativ glatten Oberfläche ($R_z < 8 \mu\text{m}$) hergestellt. Der eintrittsseitige und austrittsseitige Honüberlauf S betrug dabei ähnlich wie bei konventionellen Verfahren ca. $1/3$ der Leistenlänge. Der Honüberlauf kann bei der Bearbeitung von V- oder Monoblockmotoren verkürzt werden.

[0065] Eine nachfolgende dritte Honoperation war als Flaschenhonoperation konzipiert. Mit Hilfe einer Flaschenhonoperation wird durch axial variierenden Materialabtrag mit geometrisch unbestimmtem Schneiden eine flaschenförmige Bohrungsform erzeugt. Dabei wurde in der dritten Honoperation (Flaschenhonoperation) ebenfalls mit relativ langen Honleisten mit Leistenlänge $l = 2/3 L$ und einer speziellen Hubsteuerung gearbeitet, die anhand von Fig. 6 erläutert wird. Fig. 6 zeigt schematisch die Hubposition HP des Honwerkzeugs als Funktion der Honzeit t bei der Flaschenhonoperation. Nach dem Einfahren des Honwerkzeuges verläuft die Bearbeitung der Zylinderlauffläche zunächst von einem ersten Zeitpunkt t_1 bis zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 mit der gleichen Hublänge in einer ersten Hublage genau wie bei der Bearbeitung einer kreiszylindrischen Bohrung. Der Begriff "Hublage" bezeichnet hierbei den Bereich zwischen dem oberen Umsteuerpunkt UO und dem unteren Umsteuerpunkt UU einer Hubbewegung. Jede Verlagerung eines Umsteuerpunktes ändert somit auch die Hublage.

[0066] Ab einem definierten zweiten Zeitpunkt t_2 schaltet die Honmaschine automatisch auf eine inkrementelle Veränderung der Hublage um und nach jedem Hub wird der obere Umsteuerpunkt UO inkrementell in Richtung des unteren Umsteuerpunktes UU verändert. Die zeitliche Lage des zweiten Zeitpunkts t_2 kann beispielsweise über eine bestimmte Hubanzahl oder über eine vorgegebene Honzeit oder über einen vorgegebenen Materialabtrag oder eine anderen auslösenden Parameter definiert werden. Das Ausmaß des Inkrements IN , um das sich der obere Umsteuerpunkt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Hübten verändert, kann ebenfalls nach Bedarf eingestellt werden. Nach Abschluss der Hubverlagerungsphase zu einem dritten Zeitpunkt t_3 wird die Bohrung mit der erreichten, neuen dritten Hublage so lange gehont,

bis der zweite Bohrungsabschnitt den gewünschten Durchmesser erreicht und die Flaschenform (vgl. Fig. 1) erzeugt ist.

[0067] Je nachdem, wie die inkrementelle Variation der Hubverlagerung und der zeitliche Ablauf der Hubverlagerung vorgegeben werden, ergeben sich unterschiedliche Radien und Tangentenwinkel im Übergangsabschnitt. Diese Parameter können daher über die Parameter der Hubverlagerung vorgegeben werden. Die Flaschenhonoperation wird zweckmäßig mit Honleisten durchgeführt, deren Schneidstoffkörner feiner sind als diejenigen beim Vorhonen oder Zwischenhonen. Beispielsweise kann mit Diamantkörnern im Bereich D35 gearbeitet werden, um eine Flaschenform mit bereits relativ feiner Oberflächenstruktur zu erhalten.

[0068] Bei der Erzeugung der Flaschenform mit Hilfe relativ langer Honleisten und inkrementeller Hubverlagerung kann sich im Übergangsbereich eine relativ raue Oberflächenstruktur mit kleinen Stufen ähnlich einem Sägeprofil ergeben. Derartige Strukturen sind in der Regel unerwünscht. Um die erwünschte Oberflächenstruktur gleichmäßig auf der gesamten Bohrungsinnenfläche inklusive dem Übergangsabschnitt und den daran anschließenden Radien zu erhalten, wird daher bei dem hier beschriebenen Verfahren nach der Flaschenhonoperation eine Verrundung der Radien und eine Glättung der Oberfläche mit Hilfe eines Ringwerkzeugs durchgeführt. Hier kann mit nochmals feineren Schneidmitteln gearbeitet werden, beispielsweise im Bereich D10 bis D15, insbesondere D12. Die Auswahl eines geeigneten Ringwerkzeuges (z.B. Einfachaufweitung, Doppelaufweitung mit zwei Schneidgruppen, angeordnet in einem gemeinsamen Ring, oder Doppelaufweitung mit zwei Schneidgruppen, angeordnet in zwei axial versetzten ringförmigen Schneidgruppen) hängt unter anderem vom Design des Zylinderblocks ab. Die Werkzeugauswahl kann beispielsweise am Ausmaß der möglichen Honüberläufe und/oder an der Lage und Größe von Querbohrungen orientiert sein. Wenn beispielsweise ein Zylinderkurbelgehäuse eine große Querbohrung hat, ist es in der Regel sinnvoll, mit einem Ringwerkzeug mit Einfachaufweitung (vgl. z.B. Fig. 2) zu arbeiten. In einem beispielhaften Prozess wurde ein solches Ringwerkzeug mit einer ringförmigen Schneidgruppe eingesetzt, um Rillen oder Grate, welche während der Bearbeitung der Flaschenhonoperation in dem Übergangsabschnitt entstanden sind, zu glätten. Mit Hilfe des Ringwerkzeuges können auch die Radien des Übergangsbereichs verrundet und die Oberflächenwerte so verändert werden, dass sie im Wesentlichen identisch mit den Oberflächenwerten in den benachbarten ersten und dritten Bohrungsabschnitten sind.

[0069] Fig. 7 zeigt hierzu ein Messdiagramm eines abgerundeten Profils eines flaschenförmigen Zylinders nach dem Einsatz eines Ringwerkzeuges mit Einfachaufweitung in dem hier dargestellten Prozess. Die Skalierung in der x-Achse des Diagramms (parallel zur Bohrungssachse) beträgt 5 mm pro gezeigter Maßeinheit, in

der y-Achse (in Radialrichtung der Bohrung) beträgt eine Maßeinheit 10 μm .

[0070] Die Verwendung eines Ringwerkzeuges bringt hier nicht nur Vorteile im Hinblick auf den glatten, kantenfreien Verlauf der Bohrungskontur in Axialrichtung. Da bei Ringwerkzeugen der hier beschriebenen Art die Schneidstoffkörper einer ringförmigen Schneidgruppe einen großen Teil des Umfangs des Honwerkzeugs (beispielsweise zwischen 70% und 80%) einnehmen, ergibt sich außerdem beim Honen eine sehr gleichmäßige Überdeckung der bearbeiteten Bohrungsinnenfläche bei allen axialen Positionen. Der Begriff "Überdeckung" bezeichnet hierbei qualitativ die Gleichmäßigkeit der Verteilung von Honriefen über die gesamte Bohrungslänge und den Umfang. Werden konventionelle Honwerkzeuge mit axial relativ langen Honleisten verwendet, kann unter Umständen eine ungleichmäßige Rauheit oder Welligkeit in der Bohrung generiert werden. Dieses Problem kann je nach Blockdesign noch schärfer auftreten, wenn beispielsweise Motorblöcke mit kürzeren Honausläufen bearbeitet werden müssen. Bei einem Honauslauf von nur wenigen Millimetern Länge kann es zu einem ungleichmäßigen Verschleiß der langen Honleisten kommen, so dass die Bohrung im unteren Umsteuerpunkt einen geringeren Durchmesser als im oberen Umsteuerpunkt bekommen kann. Solche Probleme sind bei Verwendung konventioneller Honwerkzeuge (mit langen Honleisten) zwar durch Wahl geeigneter Honparameter weitgehend zu vermeiden, die Auslegung der entsprechenden Honprozesse ist aber relativ zeit- und kostenintensiv. Häufig müssen mehrere Versuche durchgeführt werden, bis eine Honprozessauslegung so optimiert ist, dass ungleichmäßige Bearbeitung mit langen Leisten vermieden wird. Bei Verwendung eines Ringwerkzeuges können viele der konventionell auftretenden Probleme vermieden werden. Zu den Vorteilen von Ringwerkzeugen gehören unter anderem:

1. Weil ein großer Anteil des Umfangs des Honwerkzeuges im Bereich einer ringförmigen Schneidgruppe mit Schneidstoffkörpern besetzt ist, kann eine Bohrungsinnenfläche mit Hilfe eines Ringwerkzeuges viel schneller strukturiert werden als mit Hilfe eines Leistenwerkzeuges. Dadurch können ggf. Taktzeiten verkürzt werden.

2. Wird die Hublänge verstellt, um beispielsweise die Form zu korrigieren, ergeben sich bei Verwendung von Ringwerkzeugen keine störenden Ungleichmäßigkeiten der Rauheitsverteilung, da die Überdeckung auch bei veränderter Hublänge beibehalten wird.

3. Ringförmige Schneidgruppen verschleifen im Wesentlichen gleichmäßig, so dass unerwünschte Konizitäten vor allem im Bereich des unteren Umsteuerpunkts bei Verwendung von Ringwerkzeugen vermieden werden können.

4. Die Einrichtung einer Honmaschine für einen neuen Honprozess kann bei Verwendung von Ringwerkzeugen viel einfacher und schneller als bei Verwendung konventioneller Leistenhonwerkzeuge verlaufen. Die Überdeckung wird, bedingt durch die Werkzeugkonstruktion, im Rahmen der Anforderungen ausreichend gleichmäßig sein.

[0071] Wird anstelle eines Ringwerkzeuges mit einfacher Aufweitung ein Ringwerkzeug mit einem einzigen Schneidgruppenring und Doppelaufweitung (vgl. z.B. Fig. 3) für die Strukturierung verwendet, wird es in der Regel erforderlich sein, die Hubanzahl gegenüber der Verwendung eines einfach aufweitenden Ringwerkzeuges zu erhöhen, um eine gleichmäßige Überdeckung zu gewährleisten. Die Vorteile von Ringwerkzeugen bleiben aber erhalten und die erforderliche Hubanzahl für eine gleichmäßige Strukturierung der Bohrungsinnenfläche wird immer noch geringer sein als die entsprechende Hubzahl bei Verwendung eines konventionellen Honwerkzeugs mit langen Honleisten.

[0072] Bei Verwendung eines Ringwerkzeuges kann die Zustellkraft zweckmäßig mittels einer hydraulischen Aufweitung ausgeübt werden, so dass die Oberfläche im Wesentlichen mit konstanter Kraft bearbeitet werden kann. Die Verfolgung der in Axialrichtung variierenden Kontur kann sich dann durch die Bauart bedingt allein schon durch die Nachgiebigkeit der hydraulischen Aufweitung einstellen.

[0073] Nach der Glättung der Bohrungsinnenfläche und Verrundung der Radien mit Hilfe eines Ringwerkzeuges können ein oder mehrere weitere Honoperationen nachgeschaltet werden, um die endgültig gewünschte Oberflächenstruktur an der flaschenförmigen Bohrung zu erzeugen.

[0074] Bei dem hier beispielhaft beschriebenen Prozess schließt sich zunächst eine fünfte Honoperation an, die hier als "Spiralstrukturhonen mit Ringwerkzeug" bezeichnet wird. Bei dieser Honoperation werden die axialen Geschwindigkeiten und die Drehzahl des Honwerkzeuges so aufeinander abgestimmt, dass relativ große Honwinkel, beispielsweise in der Größenordnung um 140°, erzeugt werden. Selbstverständlich können bei anderen Verfahrensvarianten auch andere Honwinkel und/oder Rauheitsprofile erzeugt werden. Das Spiralstrukturhonen ist in dem Beispielsfall so ausgelegt, dass praktisch kein globaler Materialabtrag mehr erzielt wird, sondern lediglich in die nach dem Verrunden sehr glatte Oberfläche mit Hilfe eines relativ grobkörnigen Schneidstoffkörpers mit geringer Schneidkorndichte Riefen geeigneter Tiefe und Verteilung erzeugt werden. Es können z.B. Schneidstoffkörper mit Schneidmittelkorndichte 1,25 bis 15 Vol. % und/oder Korngröße 35 bis 200 µm verwendet werden (vgl. z.B. DE 10 2005 018 277 A1).

[0075] Anschließend wird in einer sechsten und letzten Honoperation die vorher strukturierte Oberfläche noch entgratet (Entgrathonen). Hierzu wird vorzugsweise ebenfalls ein Ringwerkzeug mit feinen Schneidmitteln

verwendet, beispielsweise das gleiche Ringwerkzeug, welches auch für die vierte Honoperation (Verrundung der Radien und Glatthonen) verwendet wurde. Hier kann mit unterschiedlichen Aufweitungsarten gearbeitet werden. Die Aufweitungsart kann hydraulisch/hydraulisch, hydraulisch/mechanisch oder mechanisch/mechanisch ausgelegt sein. Bei einer mechanischen Aufweitung kann z.B. kraftgesteuert über eine servomechanische Aufweitung (hydraulic-like) oder positions- und kraftgesteuert gefahren werden.

[0076] Bei einer alternativen Verfahrensvariante wird bei der Flaschenhonoperation, also bei der Erzeugung einer flaschenförmigen Bohrungsform aus einer vorher noch kreiszylindrischen Bohrungsform, ein aufweitbares Ringwerkzeug verwendet. Hierzu ist vorgesehen, dass die Steuerung des Aufweitungssystems für die radiale Zustellung der Honsegmente mit der Steuerung für die Hubposition gekoppelt wird, damit das Ringwerkzeug den Übergangsabschnitt mit dem sich verändernden Durchmesser genau generieren kann und auch im zylindrischen ersten und zweiten Bohrungsabschnitt mit geeigneter Andrückkraft arbeitet (vgl. Fig. 8). Die Flaschenhonoperation kann als zweite Honoperation unmittelbar nach dem Vorhonen vorgesehen sein und insoweit die zweite bis vierte Honoperation des ersten Ausführungsbeispiels ersetzen. Die hubabhängige Steuerung der Aufweitung erfolgt dann so, dass die Honsegmente der Schneidgruppe bei einem Abwärtshub entsprechend der Flaschenform in Abhängigkeit von der Hubposition weg- und kraftgesteuert radial nach außen zugestellt und bei einem Aufwärtshub entsprechend der Flaschenform in Abhängigkeit von der Hubposition im Bereich des Übergangsabschnitts wieder radial zurückgezogen werden. So kann von Anfang an ein glatter Konturverlauf im Übergangsabschnitt erreicht werden.

[0077] An der Honmaschine kann dies dadurch erreicht, dass bestimmte Hubbereiche entsprechend den ersten bis dritten Bohrungsabschnitten im Steuerprogramm eingegeben werden, so dass die Schneidgruppe durch weg- und kraftgesteuerte Aufweitung beim Abwärtshub ab Ende des ersten Bohrungsabschnitts aufweitet. Beim Aufwärtshub fährt die Aufweitung der Schneidgruppe dann ab Ende des dritten Bohrungsabschnitts zurück, so dass der erwünschte programmierte flaschenförmige Zylinder generiert wird. Fig. 8 zeigt hierzu beispielhaft ein schematisches Diagramm, welches die Abhängigkeit der axialen Hubposition HP (durchgezogene Linie) und der radialen Aufweitposition AP (gestrichelte Linie) als Funktion der Honzeit t beim Flaschenhonen mit Ringwerkzeug zeigt.

[0078] Ringwerkzeuge der hier beschriebenen Art können nicht nur zur Erzeugung bzw. Bearbeitung von flaschenförmigen Bohrungen verwendet werden, sondern können auch ohne Modifikation bei der Bearbeitung von Bohrungen mit anderer Geometrie erhebliche Vorteile bringen. Beispielsweise ist es möglich, ein Ringwerkzeug mit Doppelaufweitung und einem einzigen Schneidgruppenring identisch oder ähnlich dem Ausführungs-

rungsbeispiel von Fig. 3 dazu zu verwenden, an einer Bohrung eine Freiform mit einem unrunder Bohrungsquerschnitt zu erzeugen. Dies wird üblicherweise als Formhonen bezeichnet. Beispielsweise kann mit Hilfe des Ringwerkzeuges ein Bohrungsabschnitt mit Kleeblattform oder Ellipsenform des Querschnitts erzeugt werden. Hierzu muss die Honmaschine die Möglichkeit besitzen, das erste Zustellsystem und das zweite Zustellsystem gleichzeitig zu steuern, wobei je nach Hubposition und Winkelposition der Schneidgruppe zu der Bohrung die Aufweitungen mit unterschiedlicher Kraft/Position gesteuert werden müssen, so dass die Freiform entstehen kann.

[0079] Es ist auch möglich, mit einem Ringwerkzeug eine Bohrungsform zu erzeugen und/oder zu bearbeiten, die einen kegelstumpfförmigen Bohrungsabschnitt (Konusabschnitt) aufweist, der relativ abrupt oder mit Übergangsradius in einen angrenzenden zylindrischen Bohrungsabschnitt übergeht, ohne dass sich ein weiterer Bohrungsabschnitt anschließt. Dadurch kann z.B. eine Bohrung mit Trichterform erzeugt werden, die einen eingangsseitigen zylindrischen ersten Bohrungsabschnitt mit einem ersten Durchmesser hat, der sich in einem angrenzenden zweiten Bohrungsabschnitt zum Bohrungsgrund hin konisch bis zu einem Maximaldurchmesser vergrößert. Der Durchmesserunterschied zwischen dem zylindrischen ersten Bohrungsabschnitt und dem Maximaldurchmesser im konischen zweiten Bohrungsabschnitt kann z.B. zwischen ca. 20 µm und ca. 90 µm liegen. Die axiale Länge des zylindrischen ersten Bohrungsabschnitts kann z.B. zwischen 20% und 80% der gesamten Bohrungslänge liegen.

[0080] Weiterhin ist es möglich, mithilfe eines Ringwerkzeuges in einer Bohrung einen tonnenförmigen Bohrungsabschnitt, d.h. eine Ausbauchung in einer ansonsten weitgehend zylindrischen Bohrung zu erzeugen. Die Ausbauchung kann etwa mittig oder aber in der Nähe eines der Bohrungsenden liegen.

[0081] Bei Verwendung eines Ringwerkzeuges ist es auch relativ kostengünstig möglich, eine Zylinderlauffläche so zu bearbeiten, dass im Bereich des oberen Totpunktes und/oder im Bereich des unteren Totpunktes schmale Streifen mit anderen Oberflächenstrukturen vorliegt als im mittleren Bereich höchster Kolbengeschwindigkeit. Diese Variante wird hier als "Streifenhonen" bezeichnet. Ein hierzu geeignetes konventionelles Verfahren und ein entsprechend angepasstes Honwerkzeug sind z.B. in der DE 195 42 892 C2 beschrieben. Dort wird zusätzlich zu einer Honbearbeitung, die die gesamte axiale Länge des Honwerkzeuges mit langen Honleisten bearbeitet, eine kurzhubige Honbearbeitung mit Hilfe kurzer Honleisten durchgeführt, wobei diese Honbearbeitung nur den Bereich des oberen Totpunktes bzw. des unteren Totpunktes abdeckt.

[0082] Bei Verwendung eines Ringwerkzeuges mit Doppelaufweitung und zwei axial versetzten Schneidgruppen (vgl. z.B. Fig. 4) sind entsprechende Oberflächenbearbeitungen ebenfalls möglich. Beispielsweise

kann mit der ersten ringförmigen Schneidgruppe eine langhubige Bearbeitung der gesamten Bohrungslänge durchgeführt werden, bevor dann beispielsweise mit der zweiten Schneidgruppe im Bereich des oberen Totpunktes eine kurzhubige Bearbeitung zur Erzeugung einer besonderen Struktur im Bereich des oberen Totpunktes durchgeführt wird.

[0083] Bei entsprechender variabler Steuerung des Verhältnisses zwischen Hubfrequenz und Drehfrequenz der Arbeitsspindel kann auf einfache Weise auch erreicht werden, ein solches Streifenhonen mit unterschiedlichen Honwinkeln in unterschiedlichen axialen Bohrungsabschnitten durchzuführen (vgl. z.B. Fig. 4 aus DE 10 2007 032 370 A1).

Patentansprüche

1. Honverfahren zur Bearbeitung der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück mithilfe mindestens einer Honoperation, insbesondere zum Honen von Zylinderlaufflächen bei der Herstellung von Zylinderblöcken oder Zylinderlaufbuchsen für Hubkolbenmaschinen, wobei während einer Honoperation ein aufweitbares Honwerkzeug innerhalb der Bohrung zur Erzeugung einer Hubbewegung in Axialrichtung der Bohrung auf und ab bewegt und gleichzeitig zur Erzeugung einer der Hubbewegung überlagerten Drehbewegung gedreht wird, wobei eine von der Kreiszylinderform abweichende Bohrungsform erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** eine flaschenförmige Bohrung erzeugt wird, die anschließend an einen Bohrungseintritt einen ersten Bohrungsabschnitt mit einem ersten Durchmesser, entfernt von dem Bohrungseintritt einen zweiten Bohrungsabschnitt mit einem zweiten Durchmesser, der größer als der erste Durchmesser ist, und zwischen dem ersten und dem zweiten Bohrungsabschnitt einen Übergangsabschnitt mit einem kontinuierlichen Übergang vom ersten zum zweiten Durchmesser aufweist, wobei bei mindestens einer Honoperation ein Ringwerkzeug (200, 300, 400) verwendet wird, das mindestens eine ringförmige Schneidgruppe (220, 320, 420) mit drei oder mehr um den Umfang eines Werkzeugkörpers verteilten, durch Verschiebung in Radialrichtung bei der Zustellung radial zustellbaren Schneidstoffkörpern aufweist, die als in Umfangsrichtung breite und in Axialrichtung schmale Honsegmente gestaltet sind, wobei eine in Axialrichtung gemessene axiale Länge der Honsegmente kleiner als die in Umfangsrichtung gemessene Breite und die axiale Länge des mit Schneidstoffkörpern ausgestatteten Schneidbereichs kleiner als der wirksame Außendurchmesser des Honwerkzeugs ist.

2. Honverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zunächst eine Bohrung mit kreiszylindrischer Bohrungsform erzeugt wird und danach in einer Flaschenhonoperation durch Honen mit axial variierendem Honabtrag eine flaschenförmige Bohrungsform erzeugt wird. 5
3. Honverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Flaschenhonoperation ein aufweitbares Honwerkzeug mit mindestens einer ringförmigen Schneidgruppe verwendet wird, wobei Honsegmente der Schneidgruppe bei einem Abwärtshub entsprechend der Flaschenform in Abhängigkeit von der Hubposition radial zugestellt und bei einem Aufwärtshub entsprechend der Flaschenform in Abhängigkeit von der Hubposition radial zurückgezogen werden. 10 15
4. Honverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Flaschenhonoperation ein aufweitbares Honwerkzeug mit Honleisten verwendet wird, deren Länge mehr als 50% der Länge der Bohrung beträgt, wobei in einer ersten Phase das Honwerkzeug in einer ersten Hublage zwischen einem oberen und einen unteren Umsteuerpunkt auf und ab bewegt wird, danach in einer zweiten Phase der obere Umsteuerpunkt inkrementell in Richtung des unteren Umsteuerpunkts verändert wird, so dass eine Verlagerung der Hublage in Richtung einer zweiten Hublage im Bereich des zweiten Bohrungsabschnitts erfolgt, und danach in einer dritten Phase das Honwerkzeug in der zweiten Hublage auf und ab bewegt wird. 20 25 30
5. Honverfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Flaschenhonoperation eine Glättungshonoperation zur Glättung des Bohrungsprofils im Übergangsbereich durchgeführt wird, wobei bei der Glättungshonoperation ein aufweitbares Honwerkzeug mit mindestens einer ringförmigen Schneidgruppe verwendet wird, wobei vorzugsweise bei der Glättungshonoperation die Schneidstoffkörper mit konstanter Zustellkraft an die Innenfläche der Bohrung gedrückt werden. 35 40 45
6. Honwerkzeug, insbesondere zur Durchführung des Honverfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem Werkzeugkörper (210, 310, 410), der eine Werkzeugachse definiert, mindestens einer an dem Werkzeugkörper angebrachten Schneidgruppe (220, 320, 420) mit Schneidstoffkörpern zum materialabtragenden Bearbeiten der Innenfläche einer Bohrung, und einem der Schneidgruppe zugeordneten Schneidgruppen-Zustellsystem zur Ausübung einer radial zur Werkzeugachse wirkenden Zustellkraft auf die Schneidstoffkörper der Schneidgruppe, **dadurch gekennzeichnet,** 50 55
 - dass** das Honwerkzeug (200, 300, 400) als Ringwerkzeug ausgebildet ist und mindestens eine ringförmige Schneidgruppe (220, 320, 420) mit drei oder mehr um den Umfang des Werkzeugkörpers verteilten, durch Verschiebung in Radialrichtung bei der Zustellung radial zustellbaren Schneidstoffkörpern (220-1, 220-2, 220-3) aufweist, die als in Umfangsrichtung breite und in Axialrichtung schmale Honsegmente gestaltet sind, wobei eine in Axialrichtung gemessene axiale Länge (LHS) der Honsegmente kleiner als die in Umfangsrichtung gemessene Breite und die axiale Länge des mit Schneidstoffkörpern ausgestatteten Schneidbereichs kleiner als der wirksame Außendurchmesser des Honwerkzeugs ist.
7. Honwerkzeug nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die axiale Länge der Honsegmente weniger als 30% des wirksamen Außendurchmessers des Honwerkzeugs beträgt, insbesondere zwischen 10% und 20% dieses Außendurchmessers und/oder dass die axiale Länge der Honsegmente im Bereich von 5 mm bis 20 mm liegt und/oder dass die axiale Länge der Honsegmente weniger als 10% der Bohrungslänge der zu honenden Bohrung beträgt.
8. Honwerkzeug nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehr als die Hälfte des Umfangs einer ringförmigen Schneidgruppe (220, 320, 420), insbesondere mehr als 70% dieses Umfangs, mit Schneidstoffkörpern besetzt ist.
9. Honwerkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Schneidgruppe aus drei, vier, fünf oder sechs Honsegmenten besteht.
10. Honwerkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schneidgruppe (220, 320, 420) derart in der Nähe eines spindelabgewandten Endes des Werkzeugkörpers angeordnet ist, dass sich die Schneidgruppe ausschließlich in der spindelabgewandten Hälfte des Werkzeugkörpers befindet.
11. Honwerkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ringwerkzeug (200, 300) eine einzige ringförmige Schneidgruppe (220, 320) aufweist, die vorzugsweise an einem freien Ende des Werkzeugkörpers (210, 310) angeordnet ist.
12. Honwerkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,**
 - dass** eine ringförmige Schneidgruppe (320) zwei unabhängig voneinander zustellbare Gruppen von Honsegmenten (320-1, 320-2) aufweist, wobei Honsegmente der Gruppen in Umfangsrichtung abwechselnd

selnd angeordnet sind.

13. Honwerkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ringwerkzeug (400) eine erste ringförmige Schneidgruppe (420-1) und mindestens eine zweite ringförmige Schneidgruppe (420-2) aufweist, die axial versetzt zur ersten ringförmigen Schneidgruppe angeordnet und unabhängig von der ersten ringförmigen Schneidgruppe zustellbar ist, wobei das Ringwerkzeug vorzugsweise genau zwei ringförmige Schneidgruppen aufweist.
14. Honwerkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Honwerkzeug ein oder mehrere Sensoren eines Durchmessermesssystems angeordnet sind, wobei vorzugsweise zwischen benachbarten Honsegmenten am Werkzeugkörper jeweils Messdüsen (440) eines pneumatischen Durchmessermesssystems angebracht sind.
15. Honwerkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Werkzeugkörper ein integriertes, mehrachsig bewegliches Gelenk, insbesondere ein Kugelgelenk (350), vorgesehen ist.

Claims

1. Honing method for machining the internal surface of a bore in a workpiece with the aid of at least one honing operation, in particular for honing cylinder faces during the production of cylinder blocks or cylinder liners for reciprocating piston engines, wherein, during a honing operation, an expandable honing tool is moved up and down within the bore in order to produce a reciprocating movement in the axial direction of the bore and at the same time is rotated in order to produce a rotational movement combined with the reciprocating movement, wherein a bore shape deviating from the circular cylinder shape is produced, **characterized in that** a bottle-shaped bore is produced, said bore having, following a bore inlet, a first bore section with a first diameter, a second bore section with a second diameter, which is larger than the first diameter, away from the bore inlet, and a transition section with a continuous transition from the first to the second diameter between the first and the second bore section, wherein, during at least one honing operation, use is made of an annular tool (200, 300, 400) which has at least one annular cutting group (220, 320, 420) having three or more cutting material bodies which are distributed about the circumference of a tool body

and radially infeedable by shifting in the radial direction during the infeeding, and are designed as honing segments which are wide in the circumferential direction and are narrow in the axial direction, wherein an axial length of the honing segments, as measured in the axial direction, is smaller than the width measured in the circumferential direction, and the axial length of the cutting region equipped with cutting material bodies is smaller than the effective outside diameter of the honing tool.

2. Honing method according to claim 1, **characterized in that** first of all a bore having a circular-cylindrical bore shape is produced and then, in a bottle honing operation, a bottle-shaped bore shape is produced by honing with axially varying honing removal.
3. Honing method according to claim 2, **characterized in that**, during the bottle honing operation, use is made of an expandable honing tool having at least one annular cutting group, wherein honing segments of the cutting group are infed radially during a downward stroke in accordance with the bottle shape depending on the stroke position and are radially retracted during an upward stroke in accordance with the bottle shape depending on the stroke position.
4. Honing method according to claim 2, **characterized in that**, during the bottle honing operation, use is made of an expandable honing tool with honing sticks, the length of which is more than 50% of the length of the bore, wherein, in a first phase, the honing tool is moved up and down between an upper and a lower reversing point in a first stroke position, then, in a second phase, the upper reversing point is changed incrementally in the direction of the lower reversing point, and therefore the stroke position is shifted in the direction of a second stroke position in the region of the second bore section, and then, in a third phase, the honing tool is moved up and down in the second stroke position.
5. Honing method according to claim 4, **characterized in that**, after the bottle honing operation, a smoothing honing operation for smoothing the bore profile in the transition region is carried out, wherein, during the smoothing honing operation, use is made of an expandable honing tool having at least one annular cutting group, wherein preferably, during the smoothing honing operation, the cutting material bodies are pressed at a constant infeed force on to the internal surface of the bore.
6. Honing tool, in particular for carrying out the honing method as claimed in one of the preceding claims, with a tool body (210, 310, 410) which defines a tool axis, at least one cutting group (220, 320, 420) which

is attached to the tool body and has cutting material bodies for the material-removing machining of the internal surface of a bore, and a cutting-group infeed system, assigned to the cutting group, for exerting an infeed force, acting radially with respect to the tool axis, on the cutting material bodies of the cutting group,

characterized in that

the honing tool (200, 300, 400) is designed as an annular tool and has at least one annular cutting group (220, 320, 420) having three or more cutting material bodies (220-1, 220-2, 220-3) which are distributed about the circumference of the tool body and radially infeedable by shifting in the radial direction during the infeeding, and are designed as honing segments which are wide in the circumferential direction and are narrow in the axial direction, wherein an axial length (LHS) of the honing segments, as measured in the axial direction, is smaller than the width measured in the circumferential direction, and the axial length of the cutting region equipped with cutting material bodies is smaller than the effective outside diameter of the honing tool.

7. Honing tool according to claim 6, **characterized in that** the axial length of the honing segments is less than 30% of the effective outside diameter of the honing tool, in particular between 10% and 20% of said outside diameter, and/or **in that** the axial length of the honing segments lies within the range of 5 mm to 20 mm, and/or **in that** the axial length of the honing segments is less than 10% of the bore length of the bore to be honed.
8. Honing tool according to claim 6 or 7, **characterized in that** more than half of the circumference of an annular cutting group (220, 320, 420), in particular more than 70% of said circumference, is occupied with cutting material bodies.
9. Honing tool according to any of claims 6 to 8, **characterized in that** a cutting group is composed of three, four, five or six honing segments.
10. Honing tool according to any of claims 6 to 9, **characterized in that** the cutting group (220, 320, 420) is arranged in the vicinity of a spindle-remote end of the tool body in such a manner that the cutting group is located exclusively in the spindle-remote half of the tool body.
11. Honing tool according to any of claims 6 to 10, **characterized in that** the annular tool (200, 300) has a single annular cutting group (220, 320) which is preferably arranged at a free end of the tool body (210, 310).
12. Honing tool according to any of claims 6 to 11, **char-**

acterized in that an annular cutting group (320) has two groups of honing segments (320-1, 320-2) which are infeedable independently of each other, wherein honing segments of the groups are arranged in an alternating manner in the circumferential direction.

13. Honing tool according to any of claims 6 to 10, **characterized in that** the annular tool (400) has a first annular cutting group (420-1) and at least one second annular cutting group (420-2) which is arranged axially offset with respect to the first annular cutting group and is infeedable independently of the first annular cutting group, wherein the annular tool preferably has precisely two annular cutting groups.
14. Honing tool according to any of claims 6 to 13, **characterized in that** one or more sensors of a diameter measuring system are arranged on the honing tool, wherein measuring nozzles (440) of a pneumatic diameter measuring system are in each case attached to the tool body, preferably between adjacent honing segments.
15. Honing tool according to any of claims 6 to 14, **characterized in that** an integrated, multi-axially movable joint, in particular a ball and socket joint (350), is provided on the tool body.

Revendications

1. Procédé de rodage pour l'usinage de la surface intérieure d'un alésage dans une pièce à l'aide d'au moins une opération de rodage, en particulier pour roder des surfaces de glissement de cylindres lors de la fabrication de blocs de cylindres ou de chemises de cylindre pour des machines à piston alternatif, dans lequel pendant une opération de rodage on déplace vers le haut et vers le bas un outil de rodage expansible à l'intérieur de l'alésage pour produire un mouvement de translation dans la direction axiale de l'alésage et on le fait simultanément tourner pour produire un mouvement de rotation superposé au mouvement de translation, dans lequel on produit une forme d'alésage s'écartant de la forme cylindrique circulaire, **caractérisé en ce que** on produit un alésage en forme de bouteille, qui présente ensuite à une entrée d'alésage une première partie d'alésage avec un premier diamètre, à distance de l'entrée d'alésage une deuxième partie d'alésage avec un deuxième diamètre, qui est plus grand que le premier diamètre, et entre la première et la deuxième parties d'alésage une partie de transition avec une transition continue du premier au deuxième diamètre, dans lequel lors d'au moins une opération de rodage on utilise un outil annulaire (200, 300, 400), qui pré-

- sente au moins un groupe de coupe annulaire (220, 320, 420) avec trois, ou plus, corps en matière de coupe répartis autour du pourtour du corps d'outil et pouvant s'approcher radialement par déplacement en direction radiale lors de l'approche, qui sont configurés en forme de segments de rodage larges en direction périphérique et étroits en direction axiale, dans lequel une longueur axiale des segments de rodage mesurée en direction axiale est plus petite que la largeur mesurée en direction périphérique et la longueur axiale de la zone de coupe équipée des corps en matière de coupe est plus petite que le diamètre extérieur utile de l'outil de rodage.
2. Procédé de rodage selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on produit d'abord un alésage avec une forme d'alésage cylindrique circulaire et on produit ensuite une forme d'alésage en forme de bouteille lors d'une opération de rodage de bouteille par rodage avec un enlèvement de rodage variable axialement.
 3. Procédé de rodage selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** lors de l'opération de rodage de bouteille on utilise un outil de rodage expansible avec au moins un groupe de coupe annulaire, dans lequel on approche radialement des segments de rodage du groupe de coupe lors d'une course descendante de façon correspondante à la forme de bouteille en fonction de la position dans la course et on les retire radialement lors d'une course ascendante de façon correspondante à la forme de bouteille en fonction de la position dans la course.
 4. Procédé de rodage selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** lors de l'opération de rodage de bouteille on utilise un outil de rodage avec des pierres de rodage, dont la longueur vaut plus de 50 % de la longueur de l'alésage, dans lequel dans une première phase on déplace l'outil de rodage vers le haut et vers le bas dans une première position de course entre un point d'inversion supérieur et un point d'inversion inférieur, ensuite dans une deuxième phase on modifie le point d'inversion supérieur de façon incrémentielle en direction du point d'inversion inférieur, de telle manière qu'il en résulte un déplacement de la position de course en direction d'une deuxième position de course dans la région de la deuxième partie d'alésage, puis dans une troisième phase on déplace l'outil de rodage vers le haut et vers le bas dans la deuxième position de course.
 5. Procédé de rodage selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'**après l'opération de rodage de bouteille on effectue une opération de rodage de lissage pour le lissage du profil d'alésage dans la région de transition, dans lequel lors de l'opération de rodage de lissage on utilise un outil de rodage expansible avec au moins un groupe de coupe annulaire, dans lequel on applique de préférence lors de l'opération de rodage de lissage les corps en matière de coupe avec une force d'approche constante sur la surface intérieure de l'alésage.
 6. Outil de rodage pour la mise en oeuvre du procédé de rodage selon l'une quelconque des revendications précédentes, avec un corps d'outil (210, 310, 410), qui définit un axe d'outil, avec au moins un groupe de coupe (220, 320, 420) monté sur le corps d'outil avec des corps en matière de coupe pour l'usinage avec enlèvement de matière de la surface intérieure d'un alésage, et avec un système d'approche du groupe de coupe associé au groupe de coupe pour exercer une force d'approche agissant radialement à l'axe d'outil sur les corps en matière de coupe du groupe de coupe, **caractérisé en ce que** l'outil de rodage (200, 300, 400) est réalisé en forme d'outil annulaire et présente au moins un groupe de coupe annulaire (220, 320, 420) avec trois, ou plus, corps en matière de coupe (220-1, 220-2, 220-3) répartis autour du pourtour du corps d'outil et pouvant s'approcher radialement par un déplacement en direction radiale lors de l'approche, qui sont configurés en forme de segments de rodage larges en direction périphérique et étroits en direction axiale, dans lequel une longueur axiale (LHS) des segments de rodage mesurée en direction axiale est plus petite que la largeur mesurée en direction périphérique et la longueur axiale de la zone de coupe équipée des corps en matière de coupe est plus petite que le diamètre extérieur utile de l'outil de rodage.
 7. Outil de rodage selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la longueur axiale des segments de rodage vaut moins de 30 % du diamètre extérieur utile de l'outil de rodage, en particulier entre 10 % et 20 % de ce diamètre extérieur et/ou **en ce que** la longueur axiale des segments de rodage se situe dans la plage de 5 mm à 20 mm et/ou **en ce que** la longueur axiale des segments de rodage vaut moins de 10 % de la longueur d'alésage de l'alésage à roder.
 8. Outil de rodage selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** plus de la moitié du pourtour d'un groupe de coupe annulaire (220, 320, 420), en particulier plus de 70 % de ce pourtour, est occupée par des corps en matière de coupe.
 9. Outil de rodage selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, **caractérisé en ce qu'**un groupe de coupe se compose de trois, quatre, cinq ou six segments de rodage.
 10. Outil de rodage selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, **caractérisé en ce que** le groupe de

coupe (220, 320, 420) est disposé à proximité d'une extrémité du corps d'outil éloignée de la broche, de telle manière que le groupe de coupe se trouve exclusivement dans la moitié du corps d'outil éloignée de la broche.

5

11. Outil de rodage selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, **caractérisé en ce que** l'outil annulaire (200, 300) présente un seul groupe de coupe annulaire (220, 320), qui est disposé de préférence à une extrémité libre du corps d'outil (210, 310). 10
12. Outil de rodage selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, **caractérisé en ce qu'un** groupe de coupe annulaire (320) présente deux groupes de segments de rodage (320-1, 320-2) pouvant s'approcher indépendamment l'un de l'autre, dans lequel des segments de rodage des groupes sont disposés en alternance en direction périphérique. 15
20
13. Outil de rodage selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, **caractérisé en ce que** l'outil annulaire (400) présente un premier groupe de coupe annulaire (420-1) et au moins un deuxième groupe de coupe annulaire (420-2), qui est disposé de façon axialement décalée par rapport au premier groupe de coupe annulaire et qui peut s'approcher indépendamment du premier groupe de coupe annulaire, dans lequel l'outil annulaire présente de préférence exactement deux groupes de coupe annulaires. 25
30
14. Outil de rodage selon l'une quelconque des revendications 6 à 13, **caractérisé en ce qu'un ou plusieurs** capteur(s) d'un système de mesure de diamètre est/sont disposé(s) sur l'outil de rodage, dans lequel des buses de mesure (440) d'un système pneumatique de mesure de diamètre sont respectivement placées sur le corps d'outil de préférence entre des segments de rodage voisins. 35
40
15. Outil de rodage selon l'une quelconque des revendications 6 à 14, **caractérisé en ce qu'il** est prévu sur le corps d'outil une articulation intégrée, mobile selon plusieurs axes, en particulier une articulation à rotule (350). 45

50

55

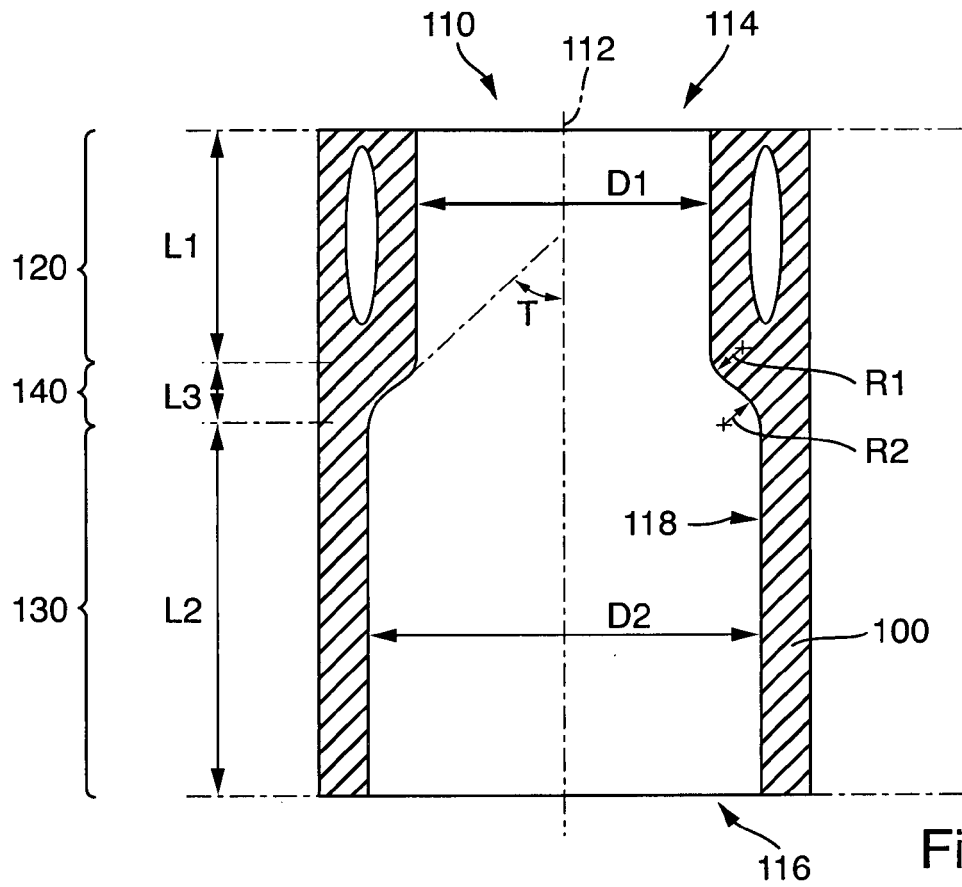


Fig. 1

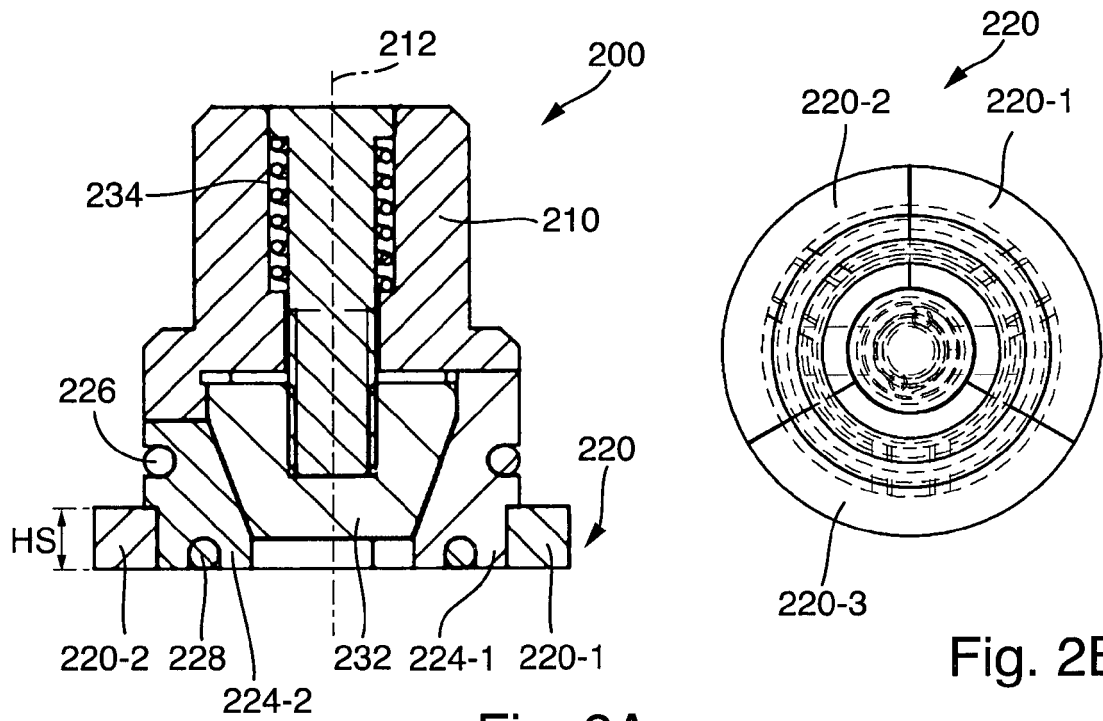
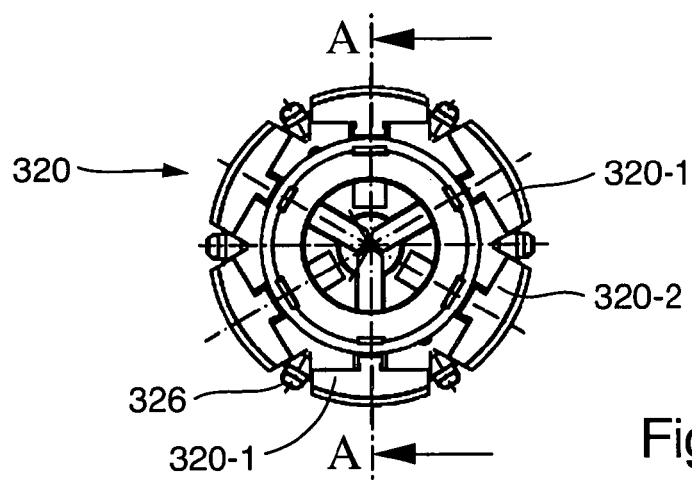
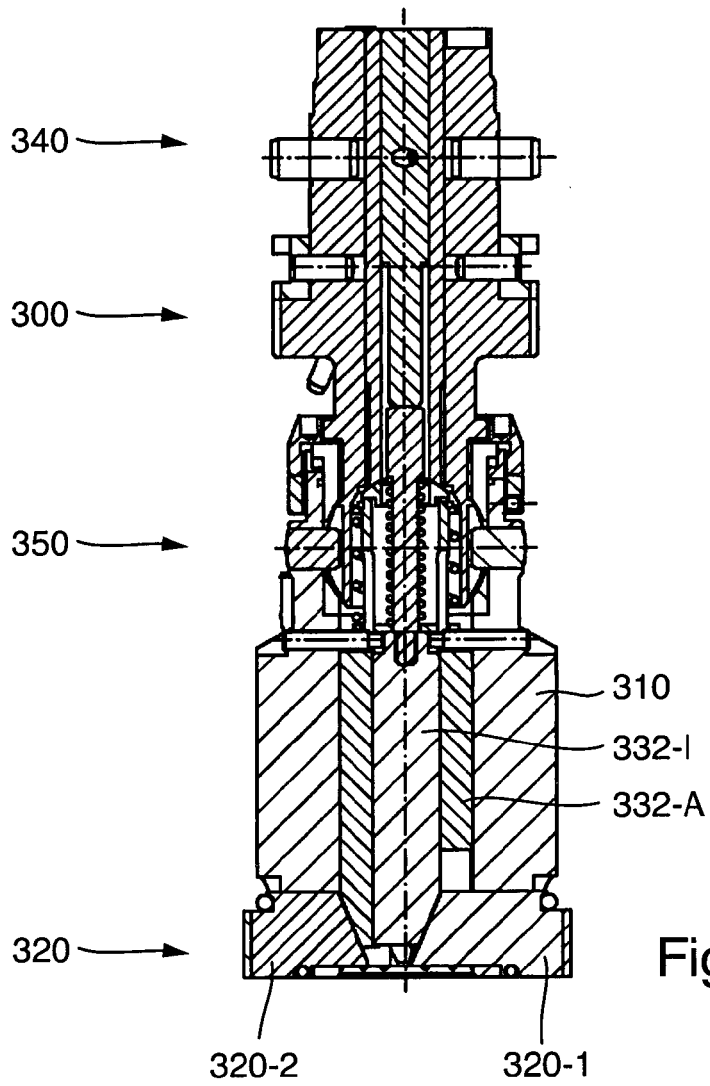


Fig. 2A

Fig. 2B



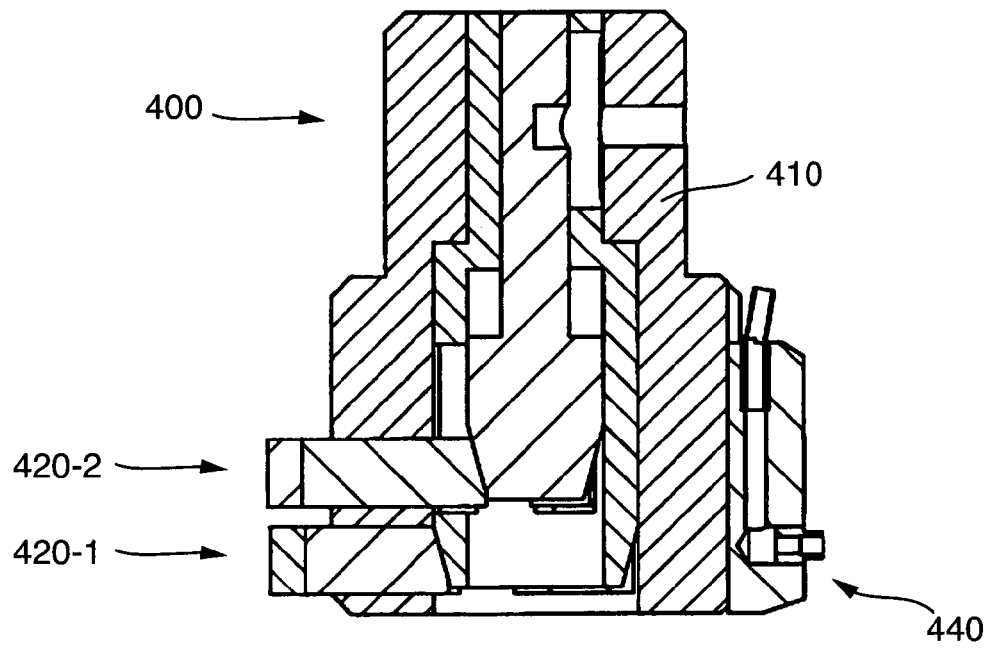


Fig. 4A

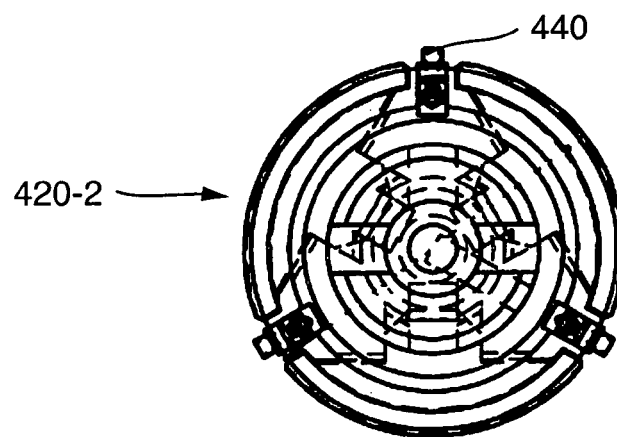


Fig. 4B

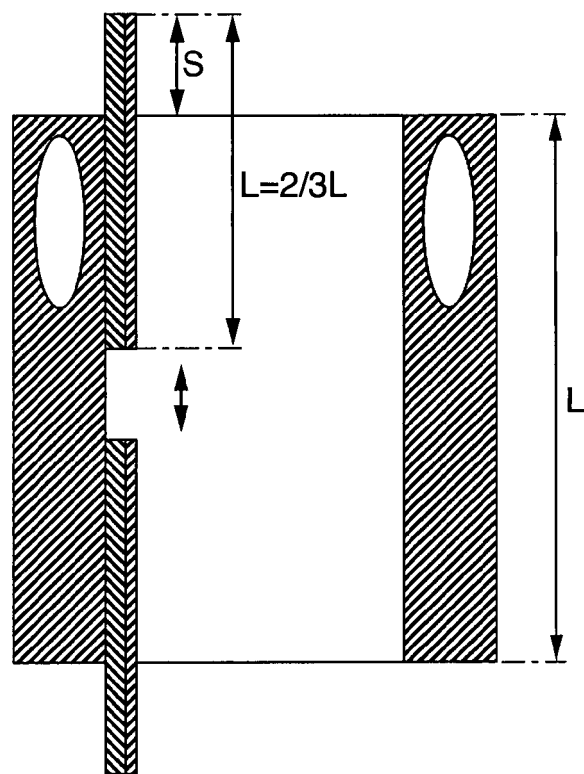


Fig. 5

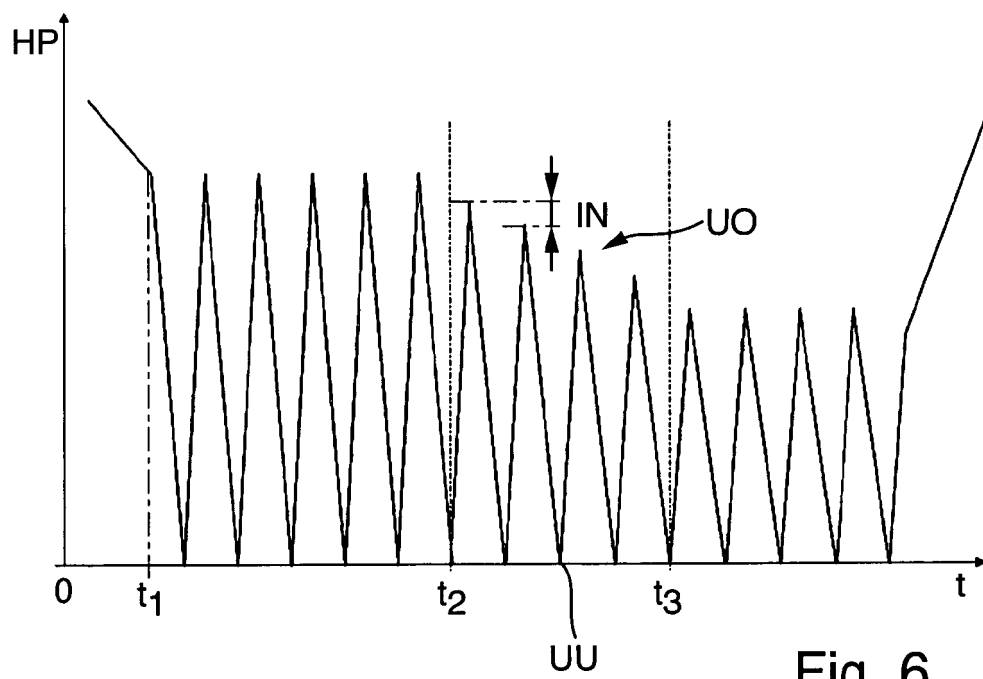


Fig. 6

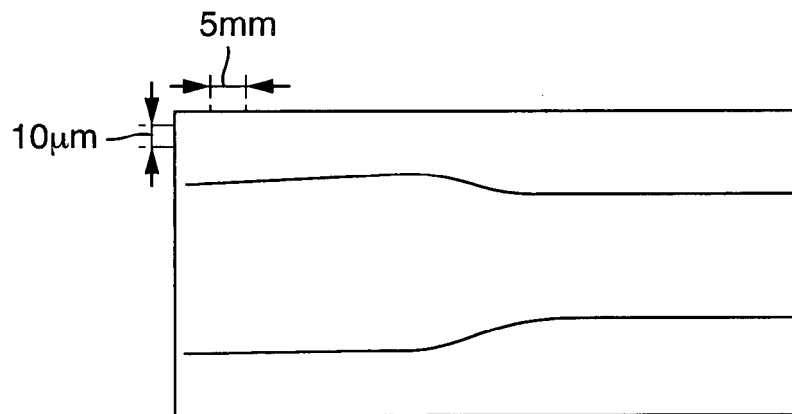


Fig. 7

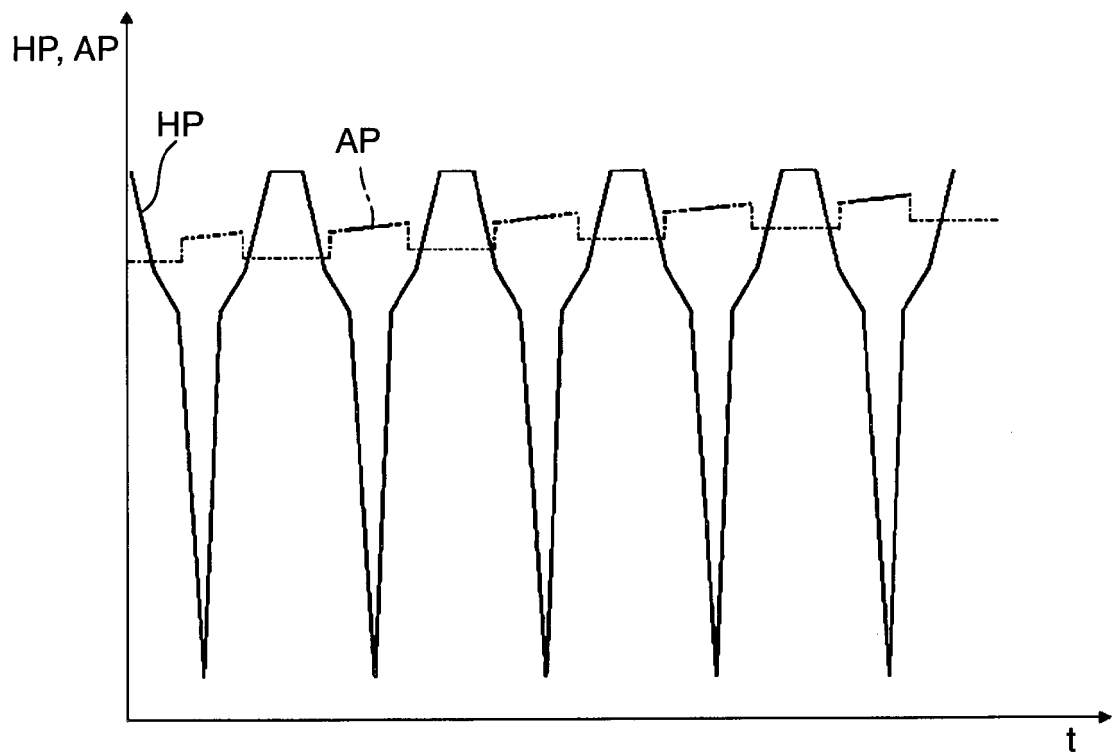


Fig. 8

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 2810322 C2 [0007]
- EP 1790435 B1 [0008]
- EP 1321229 A1 [0009]
- WO 0176817 A1 [0010]
- DE 1652074 A1 [0011]
- DE 102005018277 A1 [0074]
- DE 19542892 C2 [0081]
- DE 102007032370 A1 [0083]