

(19)



(11)

EP 3 259 098 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.01.2022 Patentblatt 2022/03

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B24B 33/02 ^(2006.01) **B24B 33/06** ^(2006.01)
B24B 33/08 ^(2006.01) **B24B 49/16** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16704231.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B24B 33/02; B24B 33/06; B24B 33/083;
B24B 49/16

(22) Anmeldetag: **15.02.2016**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2016/053086

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/131735 (25.08.2016 Gazette 2016/34)

(54) **HONVERFAHREN UND BEARBEITUNGSMASCHINE ZUM FORMHONEN**

HONING METHOD AND PROCESSING MACHINE FOR FORM HONING

PROCÉDÉ DE POLISSAGE ET MACHINE D'USINAGE POUR LE POLISSAGE DE FORMES

(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**

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

(30) Priorität: **20.02.2015 DE 102015203051**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.12.2017 Patentblatt 2017/52

(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- 1 790 435 EP-A2- 2 123 399
WO-A1-2014/146919 DE-A1-102007 032 370

(72) Erfinder:

- **XAVIER, Fabio Antonio**
Florianópolis, Santa Catarina
88040-600 (BR)

EP 3 259 098 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Honverfahren zur Bearbeitung der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück mithilfe mindestens einer Honoperation gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, sowie eine zur Durchführung des Honverfahrens konfigurierte Bearbeitungsmaschine gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 14. Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet ist das Honen von Zylinderlaufflächen bei der Herstellung von Zylinderblöcken oder Zylinderlaufbuchsen für Hubkolbenmaschinen.

[0002] Die Zylinderlaufflächen 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 Zylinderlaufflächen 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 hin- und her bewegt und gleichzeitig zur Erzeugung einer der Hubbewegung überlagerten Drehbewegung mit einer vorgebbaren Drehzahl gedreht. Zur Aufweitung des Honwerkzeugs werden die am Honwerkzeug angebrachten Schneidstoffkörper über ein Zustellsystem mit einer radial zur Werkzeugachse wirkenden Zustellkraft und/oder Zustellgeschwindigkeit zugestellt und an die zu bearbeitende Innenfläche angedrückt. Beim Honen entsteht in der Regel 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/Zylinderlauffläche von besonderer Bedeutung, um geringe Reibung, geringen Verschleiß und geringen Ölverbrauch zu erreichen.

[0005] Der Reibungsanteil der Kolbengruppe kann bis zu 35% betragen, so dass eine Reibungsreduzierung in diesem Bereich wünschenswert ist.

[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 Kreiszylinderform abweicht. Während der Montage und/oder des Betriebs des Motors kann es jedoch zu deutlichen Formfehlern (Verzügen) 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] Das sogenannte Formhonen, auch bezeichnet als Freiformhonen, ist eine 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. Dabei wird am unverspannten Werkstück mittels Honen eine von der Kreiszylinderform definiert abweichende Bohrungsform erzeugt. Solche Bohrungsformen sind in der Regel in Axialrichtung und/oder in Umfangsrichtung unsymmetrisch, weil auch die Deformationen des Zylinderblocks in der Regel nicht symmetrisch sind. Im Betriebszustand soll sich eine möglichst ideale Kreiszylinderform ergeben, so dass das Kolbenringpaket über den gesamten Bohrungsumfang gut abdichten kann.

[0008] Verschiedene Varianten des Formhons, die es erlauben, nicht-rotationssymmetrische Bohrungsformen mit einer systematischen Abweichung von einer 2-zähligen Rotationssymmetrie zu erzeugen, werden in der EP 1 790 435 B1 beschrieben.

[0009] In der WO 2014/146919 A1 wird ein Honverfahren zum Formhonen beschrieben, bei dem eine in Bezug auf die Bohrungsachse rotationssymmetrische, flaschenförmige Bohrung erzeugt wird, die in der Nähe des Bohrungseintritts enger ist als weiter entfernt vom Bohrungseintritt. Bei einer Verfahrensvariante wird ein Honwerkzeug mit axial relativ langen Honleisten verwendet. Zur Erzeugung eines axial variierenden Materialabtrags werden in einer Hubveränderungsphase die Hublänge und/oder die Hublage der Hubbewegung verändert. Hierdurch kann ein axialer Konturverlauf erzeugt oder verändert werden. In der Anmeldung werden auch Honwerkzeuge beschrieben, die mindestens eine ringförmige Schneidgruppe mit Schneidstoffkörpern aufweisen, die als in Umfangsrichtung breite und in Axialrichtung schmale Honsegmente gestaltet sind. Bei Verwendung derartiger Honwerkzeuge lassen sich Bohrungsformen mit axialem Konturverlauf besonders präzise und wirtschaftlich bearbeiten.

AUFGABE UND LÖSUNG

[0010] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Honverfahren der eingangs erwähnten Art bereitzustellen, das es erlaubt, an Bohrungen, die im fertig bearbeiten Zustand einen axialen Konturverlauf haben sollen, den gewünschten Konturverlauf über die gesamte relevante Bohrungslänge mit ausreichender Präzision zu erzeugen. Es ist eine weitere Aufgabe, eine zur Durchführung des Honverfahrens konfigurierte Bearbeitungsmaschine bereitzustellen.

[0011] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Honverfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1. Weiterhin wird die Aufgabe gelöst durch eine Bearbeitungsmaschine mit den Merkmalen von Anspruch 14. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

[0012] Durch umfangreiche Honversuche (Konturhonung) mit unterschiedlichen Schneidmittelspezifikationen, Schneidmittelabmessungen, Schneidmittelanordnungen (Anzahl Segmente/Leisten) sowie Ringwerkzeugausführungen und konventionellen Werkzeugen (mit relativ langen Honleisten mit Längen im Bereich von ca. 1/3 bis 2/3 der Bohrungslänge) wurde gezeigt, im Bereich des Bohrungsabschnitts mit relativ größtem Durchmesser geometrische Abweichungen von der Soll-Form auftreten können. Hierzu wurde unter anderem der Verlauf des Drehmoments in Abhängigkeit von der Hublänge und der Hubverlagerung, der Drehzahl der Spindel und Aufweitgeschwindigkeit dokumentiert. Es konnte eine Tendenz dahingehend festgestellt werden, dass mit Verkürzung der Hublänge während der Konturerzeugung das Spindeldrehmoment signifikant sinken kann. Dies zeigt an, dass sich die Schneidbedingungen in der Eingriffszone zwischen Schneidstoffkörper und Bohrungsinnenwand so deutlich verändern können (Reduzierung der Werkzeugstabilisierung im Prozess), dass der Materialabtrag nicht mehr im beabsichtigten Umfang erzielt wird und/oder die Form, vor allem im eintrittsfernen Bohrungsendbereich, ungünstige Abweichungen zeigt.

[0013] Wenn eine Steuerung des über die Spindel auf das Honwerkzeug übertragenen Drehmoments in der Weise erfolgt, dass das Drehmoment während der Hubveränderungsphase im Wesentlichen konstant bleibt, können derartige Formabweichungen vermieden oder auf unkritische Werte reduziert werden. Insbesondere kann ggf. über die gesamte zu honende Bohrungslänge ein relativ konstantes Drehmoment erreicht werden. Dies führt zu gleichmäßigeren Schneidkräften während der kompletten Honbearbeitung. Ein Freischneiden des Honwerkzeugs kann verhindert werden.

[0014] Die angestrebte "Konstanz" des Drehmoments ist nicht mathematisch exakt zu verstehen. Geringfügige Schwankungen des Drehmoments über die Zeit und/oder über die Hubposition innerhalb eines relativ engen Drehmoment-Fensters um einen Drehmoment-Sollwert sind zulässig. Für die Zwecke dieser Anmeldung

wird ein Drehmoment insbesondere dann als "im Wesentlichen konstant" angesehen, wenn eine Abweichung des über einen Hub gemittelten Drehmoments von einem Drehmoment-Sollwert weniger als 15%, insbesondere weniger als 10% oder weniger als 5% beträgt.

[0015] Die Bearbeitungsmaschine bzw. deren Steuereinrichtung kann hierzu eine Einrichtung zur Einstellung eines Drehmoment-Sollwerts und eines Drehmoment-Fensters um den Drehmoment-Sollwert umfassen. Beispielsweise können die Drehmomentgrenzen (untere und obere Grenze des für den Prozess zulässigen Drehmoments bzw. minimales und maximales Drehmoment) über zwei gesonderte Parameter in die Steuerung eingegeben werden. Es wäre auch möglich, einen Drehmoment-Sollwert und eine Fensterbreite als Parameter einzugeben.

[0016] Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, das Drehmoment während der Bearbeitung im Wesentlichen konstant zu halten.

[0017] Bei manchen Ausführungsformen wird zur Steuerung des Drehmoments in mindestens einer Drehzahlveränderungsphase eine von der Hublänge abhängige Veränderung der Drehzahl des Honwerkzeugs in der Weise erzeugt, dass die Drehzahl bei Reduzierung der Hublänge reduziert wird. Die Honoperation wird also zumindest phasenweise mit variabler Drehzahl durchgeführt. Diese Variante kann auch als Formhonen mit prozessintegrierter Drehzahlsteuerung bezeichnet werden. Wird die Drehzahl mit sinkender Hublänge angepasst reduziert, können relativ gleichmäßige Eingriffsbedingungen zwischen Schneidstoffkörper und Bohrungsinnenwand aufrechterhalten werden, so dass der gewünschte axial variierende Materialabtrag erreicht werden kann.

[0018] Die hubabhängige Veränderung der Drehzahl kann nach Maßgabe einer vorgegebenen Drehzahlveränderungsfunktion erfolgen. Wenn für den Honprozess die gewünschte Hubveränderung über die Honoperation festgelegt ist, kann der angepasste Drehzahlverlauf bzw. die entsprechende Drehzahlveränderungsfunktion vom Bediener vor der Honoperation eingegeben und dann im Wege einer Feed-Forward-Steuerung von der Bearbeitungsmaschine selbsttätig durchgeführt werden. Wenn beispielsweise während einer Hubveränderungsphase die Hublänge kontinuierlich in gleichmäßigen Schritten reduziert wird, kann auch die Drehzahl kontinuierlich oder in Schritten reduziert werden. Auch kompliziertere Zusammenhänge zwischen Hublänge und Drehzahl können bei Bedarf voreingestellt werden.

[0019] Es ist möglich, empirisch oder theoretisch bestimmte Zusammenhänge zwischen Hublänge und Drehzahl für bestimmte Kombinationen von Werkzeugtypen und Werkstücktypen in einem Speicher der Steuereinrichtung in Form geeigneter Datensätze zu hinterlegen und auf diese Daten bei der Programmierung der Steuerung für einen Honprozess zuzugreifen.

[0020] In vielen Fällen hat es sich als besonders günstig herausgestellt, wenn eine Veränderung der Drehzahl

auch in Abhängigkeit von der Hublänge gesteuert wird. Unter anderem hat sich gezeigt, dass bei zunehmend reduzierter Hublänge ein deutliches Absinken des Drehmomentes beobachtet werden kann. Daher kann es sinnvoll sein, bei allmählich sinkender Hublänge die Drehzahl jedenfalls dann abzusenken, wenn die Hublänge weniger als 150%, insbesondere weniger als 100%, der axialen Länge der Schneidstoffkörper entspricht. Ein entsprechendes Modul des Steuerungsprogramms kann diesen Zusammenhang abbilden, ggf. auf Basis von bau-
 teilspezifischen Vorversuchen.

[0021] Bei manchen Ausführungsformen ist eine Regelung des Drehmoments eines zur Drehung der Spindel vorgesehenen Spindelantriebs vorgesehen. Für diese Regelung wird eine Rückkopplungsstrecke aufgebaut, in welcher die zu beeinflussende Größe (Drehmoment) direkt oder indirekt erfasst und basierend auf den Werten der Erfassung die Honoperation so gesteuert wird, dass das Drehmoment im Wesentlichen konstant bleibt bzw. sich innerhalb eines vorgebbaren, relativ engen Drehmoment-Fensters hält.

[0022] Bei manchen Varianten ist eine Regelung des Drehmoments dadurch realisiert, dass an dem Spindel-antrieb das aktuelle Drehmoment des Spindelantriebs repräsentierendes Drehmoment-Signal erfasst und mit einem Sollwert des Drehmoments repräsentierenden Sollwert-Signals zur Ermittlung einer Sollwertabweichung verglichen wird und dass die Steuerung des Drehmoments des Spindelantriebs in Abhängigkeit von der Sollwertabweichung erfolgt. Das Drehmoment-Signal kann beispielsweise über die elektrische Leistungsaufnahme eines Servoantriebs oder eines anderen elektrischen Antriebs generiert werden. Auch Kraftmessungen am oder im Honwerkzeug sind möglich.

[0023] Bei manchen Ausführungsformen ist vorgesehen, dass ein Soll-Verlauf des Sollwerts des Drehmoments für eine Honoperation vorgegeben und eine Drehzahl der Spindel nach Maßgabe des Soll-Verlaufs gesteuert wird. Hierdurch können relativ gleichmäßige Schneidkräfte während der kompletten Honbearbeitung erzielt werden. Beispielsweise kann ein Soll-Drehmoment-Fenster durch Vorgabe eines minimalen und eines maximalen zulässigen Drehmoments definiert werden. Bei Abweichungen des erfassten Drehmoments während der Honphase kann dann die Drehzahl so gesteigert oder reduziert werden, dass das Drehmoment innerhalb des vorgegebenen Drehmoment-Fensters bleibt. Insbesondere kann bei Unterschreitung des Soll-Drehmoments die Drehzahl reduziert und bei Überschreitung des Soll-Drehmoments die Drehzahl erhöht werden. Die Drehzahl kann dabei zwischen programmierbaren Minimalwerten und Maximalwerten für die Drehzahl variieren.

[0024] Eine weitere Möglichkeit zur Beeinflussung des Honergebnisses liegt in einer gezielten Steuerung der Hubverlagerung. Bei manchen Ausführungsformen ist vorgesehen, dass zur Veränderung der Hublänge und/oder der Hublage während der Hubveränderungs-

phase eine Position eines oberen Umkehrpunktes und/oder eine Position eines unteren Umkehrpunktes einer Hubbewegung nach Maßgabe einer Voreinstellung verändert wird. Auf diese Weise kann die Hublänge, d.h. die axiale Länge zwischen oberem und unterem Umkehrpunkt, variiert werden. Insbesondere kann es so sein, dass mindestens über eine Phase sowohl die Position des oberen Umkehrpunktes als auch die Position des unteren Umkehrpunktes zwischen aufeinanderfolgenden Hübten verändert wird. Hierdurch kann sich gegebenenfalls im Vergleich zu einer Variante, bei der beispielsweise nur der obere Umkehrpunkt verändert wird, eine Verbesserung der Konstanz des Drehmoments ergeben. Insbesondere kann es so sein, dass ein Freischneiden des Honwerkzeugs im eintrittsfernen Bohrungsendbereich im Vergleich zu anderen Verfahrensführungen reduziert und/oder minimiert wird.

[0025] Insbesondere bei einem axialen Konturverlauf, welcher im nicht-zyklischen Bereich ein nichtlineare Formänderung bzw. eine nicht geradlinige Mantellinie aufweist, wie z.B. bei einer Bohrung mit Trompetenform oder Glockenform, kann diese Formvariante durch eine hubabhängige, variable Zustellung erzeugt bzw. eingebracht werden.

[0026] Dies kann insbesondere in der Weise erfolgen, dass eine Zustellkraft und/oder eine Zustellgeschwindigkeit von Schneidstoffkörpern des Honwerkzeugs in Abhängigkeit von der Hubposition des Honwerkzeugs gesteuert werden. Auf diese Weise kann eine variable Kraft-/Wegsteuerung zur Konturgestaltung genutzt werden oder beitragen. Beispielsweise kann mit dieser Variante besonders gut eine Trompetenform oder eine Glockenform bzw. Flaschenform oder eine Konusform einer Bohrung erzeugt werden. Eine Erzeugung der gewünschten Kontur allein mittels Hubverlagerung kann in solchen Fällen ggf. nicht ausreichend sein. Wird dagegen die Zustellkraft bzw. die Zustellgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Hublage variiert, idealerweise sowohl im Abwärtshub als auch im Aufwärtshub, können auch komplexere Bohrungsformen gut erzeugt werden. Die variable Kraft-/Wegsteuerung kann mit einer Hubverlagerung kombiniert werden. Zur Erzeugung von Sonderformen, wie zum Beispiel einer Trompetenform, kann es zweckmäßig sein, wenn mehrere Hubpositionen mit unterschiedlichen Aufweitkräften programmiert bzw. vorgegeben werden können. Beispielsweise ist es möglich, durch kleinere Abstände der Hubposition (Anzahl und Position vorzugsweise frei wählbar) und konstanter Kraft-/Wegregelung eine Trompetenform zu erzeugen.

[0027] Das Honverfahren kann mit unterschiedlich gestalteten Honwerkzeugen durchgeführt werden. Vorzugsweise wird bei der Bearbeitung ein aufweitbares Honwerkzeug verwendet, welches in einem spindelfernen Endbereich eines Werkzeugkörpers eine aufweitbare, ringförmige Schneidgruppe mit mehreren um den Umfang des Werkzeugkörpers verteilten Schneidstoffkörpern aufweist, wobei eine axiale Länge der Schneidstoffkörper kleiner ist als der wirksame Außendurchmesser

der ringförmigen Schneidgruppe bei vollständig zurückgezogenen Schneidstoffkörpern. Ein solches Honwerkzeug wird im Rahmen dieser Anmeldung auch als "Ringwerkzeug" bezeichnet. Beispiele geeigneter Honwerkzeuge mit einer oder zwei ringförmigen Schneidgruppen sowie mit einfacher Aufweitung oder Doppel-Aufweitung sind in der WO 2014/146919 A1 angegeben. Der Offenbarungsgehalt der WO 2014/146919 A1 wird insoweit durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht. Alternativ sind z.B. auch piezoelektrisch gesteuerte Honwerkzeuge verwendbar.

[0028] Die Erfindung betrifft auch eine zur Durchführung des Honverfahrens konfigurierte Bearbeitungsmaschine. Es kann sich dabei um eine spezialisierte Honmaschine oder um eine andere Werkzeugmaschine handeln, die die hier benötigten Funktionalitäten bietet.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0029] Weitere Vorteile und Aspekte der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung von bevorzugten Ausführungsbeispielen der Erfindung, die nachfolgend anhand der Figuren erläutert sind. Dabei zeigen:

Fig. 1 schematisch die Vorderansicht einer Honmaschine, die zur Durchführung verschiedener Varianten des Honverfahrens genutzt werden kann;

Fig. 2 in Fig. 2A einen Längsschnitt und in Fig. 2B eine axiale Ansicht eines Honwerkzeugs, das zur Durchführung verschiedener Varianten des Honverfahrens genutzt werden kann;

Fig. 3 einen schematischen Längsschnitt durch ein Ausführungsbeispiel einer zylindrischkonischen Bohrung mit axialem Konturverlauf;

Fig. 4 ein Diagramm, in welchem für eine Referenz-Honoperation die Hubposition des Honwerkzeugs, die Drehzahl der Spindel und das Drehmoment des Spindelantriebs aufgetragen sind;

Fig. 5 ein Messdiagramm einer gehonten Bohrung mit Formabweichungen am breiten Bohrungsende;

Fig. 6 ein Diagramm einer Verfahrensvariante mit einer linearen Drehzahlreduzierung während der Hubveränderungsphase;

Fig. 7 ein Diagramm einer Verfahrensvariante, bei der das Drehmoment die Drehzahl regelt; und

Fig. 8 ein Diagramm einer Verfahrensvariante mit einer unabhängigen Hubverlagerung am oberen Umsteuerpunkt und am unteren Umsteuerpunkt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0030] In Fig. 1 ist schematisch die Vorderansicht einer Honmaschine 100 gezeigt, die im Rahmen verschiedener Ausführungsformen erfindungsgemäßer Verfahren zur Bearbeitung von Innenflächen von Bohrungen in Werkstücken als Bearbeitungsmaschine eingesetzt werden kann, um einerseits in herkömmlicher Weise eine oder mehrere Honoperationen an dem Werkstück auszuführen und um andererseits am gleichen Werkstück auch Ausführungsformen erfindungsgemäßer Honverfahren durchzuführen.

[0031] Auf dem Maschinenbett 102 der Honmaschine ist eine Aufspannplatte 104 befestigt, die ein darauf aufgespanntes Werkstück 106 trägt, bei dem es sich im Beispielsfall um einen Motorblock (Zylinderkurbelgehäuse) einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine handelt. In dem Motorblock sind mehrere Zylinderbohrungen mit generell vertikaler Ausrichtung ihrer Zylinderachsen gebildet. Die durch die Innenflächen der Zylinderbohrungen gebildeten Zylinderlaufflächen werden auf der Honmaschine einer qualitätsbestimmenden Endbearbeitung unterzogen, bei der sowohl die Makroform der Zylinderlaufflächen, als auch deren Oberflächentopographie durch geeignete Honoperationen erzeugt wird.

[0032] Bei der Honmaschine 100 sind auf einer portalartigen Trägerkonstruktion 108 zwei im Wesentlichen identisch aufgebaute Honeinheiten 110, 112 befestigt, die abwechselnd oder gleichzeitig bei der Werkstückbearbeitung eingesetzt werden können. Ihr Aufbau wird anhand der Honeinheit 110 näher erläutert. Die Honeinheit umfasst einen auf der Trägerkonstruktion befestigten Spindelkasten 114, der die als Werkzeugspindel der Bearbeitungsmaschine dienende Honspindel 116 führt. Die Honspindel lässt sich mit Hilfe eines am Spindelkasten befestigten Spindelantriebs 118 um ihre Längsachse (Spindelachse) drehen. Der Spindelantrieb weist einen Servomotor auf, der u.a. bezüglich seiner Drehzahl und des erzeugten Drehmoments steuerbar ist.

[0033] Am unteren Ende der Honspindel ist eine Gelenkstange 120 angebracht, an deren unteres, freies Ende das als Bearbeitungswerkzeug dienende Honwerkzeug 200 begrenzt beweglich mechanisch angekoppelt ist, z.B. über eine Bajonettverbindung. Bei anderen Ausführungsformen sind andere Lösungen möglich. Beispielsweise kann anstelle der Gelenkstange eine andersartige Antriebsstange, z.B. eine Biegestange, gewählt werden. Alternativ zu einer begrenzt beweglichen mechanischen Ankopplung ist auch eine starre Ankopplung des Honwerkzeugs möglich.

[0034] Ein auf dem Spindelkasten 114 montierter Hubantrieb 124 bewirkt die Vertikalbewegung der Honspindel beim Einführen des Werkzeuges in das Werkstück bzw. beim Herausziehen aus dem Werkstück und wird während der Honbearbeitung so angesteuert, dass das Honwerkzeug innerhalb der Bohrung des Werkstückes eine zur Spindelachse parallele, vertikale Hin- und Her-

Bewegung ausführt. Hublänge und Hublage sind durch Eingabe einstellbar.

[0035] Die Honmaschine ist mit Zustellsystem 140 ausgestattet, das zwei unabhängig voneinander betätigbare Zustelleinrichtungen umfasst, die unterschiedlichen Sätzen von Arbeitselementen am Honwerkzeug zugeordnet werden können. Eine hydraulisch betätigbare zweite Zustelleinrichtung umfasst einen Hydraulikzylinder, in dem ein beidseitig mit Hydraulikdruck beaufschlagbarer Kolben sitzt, der an einem Ende einer Druckstange 152 befestigt ist. Diese lässt sich dementsprechend durch Steuerung des Hydraulikdrucks innerhalb des Hydraulikzylinders parallel zu ihrer Längsachse in beide Richtungen gesteuert bewegen. Diese Aufweitung kann auch mit einem Servomotor - kraftgesteuert oder weggesteuert - versehen werden. Die massive Druckstange 152 ist innerhalb einer hohlen Druckstange 162 koaxial mit dieser und relativ zu dieser beweglich angeordnet. Die hohle Druckstange gehört zu einem elektromechanischen ersten Zustellsystem, dessen Antrieb durch einen elektrischen Schrittmotor gebildet wird, der über ein Getriebe auf die äußere, hohle Druckstange 162 wirkt, um diese parallel zur gemeinsamen Achse der Druckstangen auf- und ab zu bewegen. Diese Aufweitung kann auch mit einem Servomotor - kraftgesteuert oder weggesteuert - versehen werden.

[0036] Der Spindelantrieb 118, der Hubantrieb 124 und die Antriebe des das Zustellsystems 140 sind an eine Steuereinrichtung 180 angeschlossen, die ein funktionaler Bestandteil der Maschinensteuerung ist und über eine Bedieneinrichtung 190 bedient werden kann. Über die Bedieneinrichtung können unter anderem die folgenden Prozessparameter eingestellt werden:

Lage des oberen Umsteuerpunkts und des unteren Umsteuerpunkts von Hubbewegungen. Dadurch sind die Hublänge und die Hublage definierbar. Hubintervalle und Hubinkremente. Dadurch sind zeitlich veränderliche Hübe programmierbar. Drehzahl, Drehzahlinkrement, minimale Drehzahl und maximale Drehzahl eines Drehzahl-Fensters. Zustellgeschwindigkeit, Hubgeschwindigkeit. Beginn einer Honphase, Beginn einer oder mehrerer weiterer Honphasen. Soll-Drehmoment und Drehmoment-Fenster und/oder minimales und maximales zulässiges Drehmoment während einer Hubveränderungsphase.

[0037] Fig. 2 zeigt in 2A einen Längsschnitt und in 2B eine axiale Ansicht des Honwerkzeugs 200. Das Honwerkzeug 200 hat eine einzige, ringförmig am Werkzeugkörper angebrachte Schneidgruppe mit um den Umfang des Werkzeugkörpers verteilten Schneidstoffkörpern, die mittels einer zugeordneten Schneidstoffkörper-Zustelleinrichtung in Radialrichtung zugestellt beziehungsweise zurückgezogen werden können. Die Schneidstoffkörper sind als Honsegmente gestaltet, deren Breite in Umfangsrichtung 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 Um-

fangs des Honwerkzeugs ein. Dadurch können mit relativ hoher Materialabtrags-Leistung Bohrungsformen erzeugt werden, bei denen in Axialrichtung Bohrungsabschnitte unterschiedlicher Durchmesser aneinander angrenzen. Aufgrund der ringförmigen Anordnung der Schneidstoffkörper wird das Honwerkzeug in dieser Anmeldung auch als "Ringwerkzeug" bezeichnet.

[0038] Das Honwerkzeug 200 hat einen Werkzeugkörper 210, der eine Werkzeugachse 212 definiert, die gleichzeitig die Rotationsachse des Honwerkzeugs während der Honbearbeitung ist. Am spindelseitigen Ende des Honwerkzeugs (in Fig. 2A oben) befindet sich eine nicht näher dargestellte Kupplungsstruktur zum Ankoppeln des Honwerkzeugs an eine Antriebsstange einer Honmaschine oder einer anderen Bearbeitungsmaschine, welche eine Spindel hat, die sowohl um die Spindelachse drehbar als auch parallel zur Spindelachse oszillierend hin- und her bewegbar ist.

[0039] Das Honwerkzeug wird im dargestellten Beispiel gelenkig an die Honspindel oder eine Gelenkstange angekoppelt, um eine begrenzte Beweglichkeit des Honwerkzeugs gegenüber der Honspindel zuzulassen. Hierzu ist am spindelseitigen Ende des Honwerkzeugs ein mehrachsiges Gelenk ausgebildet, z.B. ein kardanisches Gelenk oder ein Kugelgelenk.

[0040] 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 der Schneidstoffkörper-Zustelleinrichtung 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 90° und 110° abdeckt. Die Honsegmente sind vom Werkzeugkörper entkoppelt und relativ zu diesem radial zur Werkzeugachse 212 verschiebbar. Der durch die Honsegmente gebildete Ring schließt an der spindelabgewandten Seite fast bündig oder bündig mit dem Werkzeugkörper ab. Der Ring sitzt vollständig innerhalb der spindelabgewandten Viertels des Werkzeugkörpers am spindelabgewandten Ende des Ringwerkzeugs. Die axiale Länge der Schneidstoffkörper definiert hier die axiale Länge des Schneidbereichs.

[0041] Die axiale Länge LHS der Honsegmente liegt bei weniger als 35%, insbesondere bei weniger als 15% der Bohrungslänge. Die Honsegmente sind ca. 5 mm bis 90 mm, insbesondere ca. 10 mm bis 70 mm hoch (in Axialrichtung), was im Beispielsfall zwischen 5% und 50%, insbesondere zwischen 10% und 20% oder 30% des wirksamen Außendurchmessers der Schneidgruppe (bei vollständig zurückgezogenen Schneidstoffkörpern)

entspricht. Die axiale Länge LHS entspricht hier gleichzeitig der axialen Länge des gesamten Schneidbereichs des Honwerkzeugs.

[0042] Jeder Schneidstoffkörper ist an einer Außenseite einer zugeordneten Tragleiste 224-1, 224-2 aus Stahl durch Lötten befestigt. Alternativ kann der Schneidstoffkörper auch durch Kleben oder mittels Schrauben befestigt werden, wodurch eine leichtere Auswechslung möglich ist. Im Beispiel trägt jede Tragleiste nur einen kreissegmentartig gestalteten Schneidstoffkörper. Auf einer Tragleiste können auch mehrere einzelne Schneidleisten befestigt werden. Jede Tragleiste hat an ihrer Innenseite eine Schrägfläche, die mit einer konischen Außenfläche eines axial verschiebbaren, rohrförmigen bzw. innen hohlen 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 (nicht dargestellten) Rückholfedern in Richtung des spindelabgewandten Endes des Ringwerkzeugs gedrückt wird. Bei entgegengesetzter Zustellbewegung werden die Tragleisten mit den Honsegmenten mit Hilfe umlaufender Rückholfedern nach radial innen zurückgeholt. Die radiale Position der Schneidstoffkörper wird dadurch spielfrei über die axiale Position des Zustellkonus 232 gesteuert.

[0043] Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele von Honverfahren beschrieben, die im Rahmen von Ausführungsformen der Erfindung genutzt werden können, um rotationssymmetrische Bohrungen mit axialem Konturverlauf zu erzeugen.

[0044] Fig. 3 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch ein Ausführungsbeispiel einer solchen Bohrung 310 in einem Werkstück 300 in Form eines Motorblocks (Zylinderkurbelgehäuses) für eine Brennkraftmaschine. Die Soll-Form der Bohrung ist in Bezug auf ihre Bohrungsachse 312 rotationssymmetrisch und erstreckt sich über eine Bohrungslänge L von einem im Einbauzustand dem Zylinderkopf zugewandten Bohrungseintritt 314 bis zum Bohrungsaustritt 316 an gegenüberliegenden Ende. Die Bohrung kann in mehrere aneinander angrenzende Abschnitte unterschiedlicher Funktion unterteilt werden, die gleitend, d.h. ohne Bildung von Stufen oder Kanten, ineinander übergehen.

[0045] Ein erster Bohrungsabschnitt 320 am eintrittsseitigen Ende hat einen ersten Durchmesser D1 und eine erste Länge L1. Der erste Durchmesser liegt über die gesamte erste Länge L1 vor, so dass der erste Bohrungsabschnitt eine kreiszylindrische Gestalt hat. Der erste Bohrungsabschnitt geht in einen axial schmalen Übergangsabschnitt 325 mit Übergangsradius R1 stufenlos in einen zweiten Bohrungsabschnitt 330 über, der sich vom Übergangsabschnitt bis zum austrittsseitigen Ende der Bohrung erstreckt. Der zweite Bohrungsabschnitt 330 hat im Wesentlichen eine konische bzw. kegelschalenförmige Gestalt und erstreckt sich über eine zweite Länge L2. Der zweite Bohrungsabschnitt hat durchgängig einen Innendurchmesser (zweiter Durchmesser)

D2, der größer als der erste Durchmesser D1 ist, wobei der zweite Durchmesser ausgehend vom Übergangsabschnitt (ungefähr mit dem ersten Durchmesser) zum Bohrungsende hin kontinuierlich linear zunimmt. Der Konuswinkel α (Winkel zwischen der Bohrungsachse und einer in einer Axialebene verlaufenden Mantellinie des zweiten Bohrungsabschnitts) kann z.B. im Bereich von weniger als 5° liegen, auch bei weniger als 1° , ggf. auch bei 0.2° oder darunter.

[0046] Die erste Länge L1 kann beispielsweise zwischen 10% und 60% der Bohrungslänge L betragen. Die zweite Länge L2 ist typischerweise größer als die erste Länge und liegt häufig zwischen 30% und 80% der Bohrungslänge L. Der Übergangsabschnitt ist gegenüber den daran angrenzenden Bohrungsabschnitten sehr kurz. Auch Abweichungen von diesen geometrischen Verhältnissen sind möglich.

[0047] Der Durchmesserunterschied zwischen dem ersten Durchmesser D1 und dem zweiten Durchmesser D2 in eintrittsferneren Teilen 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 50 mm und 500 mm (letzteres z.B. bei Schiffsmotoren) kann der maximale Durchmesserunterschied beispielsweise zwischen $20\text{ }\mu\text{m}$ und $500\text{ }\mu\text{m}$ liegen.

[0048] Die Längen der äußeren Bohrungsabschnitte und der Radius des Übergangsabschnitts können so optimiert sein, dass sich in typischen Betriebszuständen des Motors geringer Blow-by, geringer Ölverbrauch und geringer Verschleiß der Kolbenringe ergeben.

[0049] Die Form 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 318 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 und dann den konischen zweiten Bohrungsabschnitt mit dem sich kontinuierlich erweiterten Innendurchmesser durchlaufen. Ab dem Übergangsabschnitt können sich die Kolbenringe allmählich entspannen, wobei die Abdichtung ausreichend bleibt, weil die Druckdifferenz an den Kolbenringen sinkt. Am eintrittsfernen Ende des zweiten Bohrungsabschnitts erreicht das Ringpaket seine niedrigste Spannung. Beim Aufwärtshub nimmt die Ringspannung dann allmählich wieder zu, bis die Kolbenringe den Übergangsabschnitt erreichen und diesen in Richtung des ersten Bohrungsabschnitts durchlaufen. Weiterhin wird berücksichtigt, dass eine durch Wärmeeinflüsse verursachte Aufweitung der Zylinderlaufbahn im oberen, zylindrischen Teil der Bohrung stärker ist als im konischen Bereich. Da-

durch ergibt sich im befeuerten Zustand insgesamt eine weitgehend zylindrische bzw. deutlich weniger konische Bohrungsform als im kalten Zustand.

[0050] Es wurden umfangreiche Serien von Honversuchen mit unterschiedlichen Schneidmittelspezifikationen, Schneidmittelabmessungen, Schneidmittelanordnungen und Werkzeugtypen (zum Beispiel Ringwerkzeugausführungen und konventionelle Honwerkzeuge mit relativ langen Honleisten) durchgeführt, um optimierte Honstrategien zur Erzielung einer gewünschten Bohrungsform mit axialem Konturverlauf zu entwickeln. Vielversprechend sind dabei Verfahrensvarianten, bei denen zur Erzeugung eines axial variierenden Materialabtrags in einer Hubveränderungsphase die Hublänge und/oder die Hublage der Hubbewegung nach einem bestimmten Schema verändert werden. Der Begriff "Hublage" bezeichnet dabei die Position des Hubs bezogen auf ein maschinenfestes (bzw. bei eingespanntem Werkstück auch werkstückfestes) Koordinatensystem. Bei allen hier dokumentierten Honoperationen wurde ausgegangen von einer kreiszylindrischen Bohrungsform, die vorab z.B. durch Langhubhonen mit relativ langen Honleisten erzeugt wurde.

[0051] Bei den Versuchen wurde unter anderem der Verlauf des Drehmoments des Spindelantriebs in Abhängigkeit von der Hublänge der Hubbewegung und deren Verlagerung, der Drehzahl und der Aufweitgeschwindigkeit mithilfe eines Systems zur Diagnose von Maschinenparametern erfasst und die Ergebnisse ausgewertet.

[0052] Fig. 4 zeigt beispielhaft ein daraus resultierendes Diagramm, in welchem auf der x-Achse die Honzeit t_H (in Sekunden) einer Honoperation und auf der y-Achse in gemeinsamer Auftragung die Hubposition HP des Honwerkzeugs, die Drehzahl DZ der Spindel und das Drehmoment DM der Spindel bzw. des Spindelantriebs aufgetragen sind.

[0053] Bei der gezeigten Referenz-Honoperation (REF) wurde die Drehzahl DZ in einer Anfahrphase auf einen Sollwert heraufgefahren und blieb dann während der gesamten Honoperation konstant. Die Hubsteuerung wurde so eingestellt, dass in einer anfänglichen ersten Honphase PH1 die Hublänge so groß war, dass das Honwerkzeug die gesamte Bohrungslänge, das heißt sowohl den ersten Bohrungsabschnitt als auch den zweiten Bohrungsabschnitt, mithilfe der ringförmigen Schneidgruppe mittels zweier kompletter Doppelhübe bearbeitet. Eine darauffolgende zweite Honphase PH2 wurde als Hubveränderungsphase programmiert, in welcher sich die Hublage des Honwerkzeugs von Hub zu Hub ändert. Der Begriff "Hublage" bezeichnet hierbei den Bereich zwischen dem oberen Umsteuerpunkt UO einer Hubbewegung (in der Nähe des Bohrungseintritts) und dem unteren Umsteuerpunkt UU der Hubbewegung näher am eintrittsfernen Ende Bohrung bezogen auf ein maschinenfestes Koordinatensystem. Jede Verlagerung eines Umsteuerpunkts ändert somit auch die Hublage. Im Beispielsfall von Fig. 4 wurde der untere Umsteuerpunkt UU konstant gehalten, während der obere Umsteuerpunkt

UO durch die Steuerung inkrementell (einstellbares Hubinkrement) in Richtung des unteren Umsteuerpunkts verändert wurde, so dass die Hublänge von Hub zu Hub schrittweise reduziert wurde. Auf diese Weise wird der eintrittsfernere Abschnitt mit mehr Hübten bearbeitet als der eintrittsnahe Abschnitt. Bei der Referenz-Honoperation wurde mit konstanter Aufweitung, das heißt mit konstanter Zustellgeschwindigkeit, gefahren.

[0054] Das über den Hub gemittelte Drehmoment DM schwankte über mehr als 2/3 der mit veränderlichem Hub gefahrenen zweiten Honphase HP2 nur relativ geringfügig innerhalb eines engen Drehmoment-Fensters (im Beispielsfall zwischen ca. 60% und ca. 70% eines Referenzwertes).

[0055] Der Referenzwert 100% entspricht in diesem Fall dem Nenn-Drehmoment des Spindelantriebs. Diese Schwankung um maximal 15 Prozentpunkte bzw. um $\pm 5\%$ bis 7.5% um den Mittelwert 65% liegt im Rahmen dessen, was im Rahmen dieser Anmeldung als "im Wesentlichen konstant" bezeichnet wird. Im letzten Abschnitt der zweiten Honphase war jedoch ein deutliches Absinken des Drehmoments auf einen Bereich deutlich unterhalb des genannten Drehmoment-Bereichs erkennbar (siehe Pfeil). Generell könnte festgestellt werden, dass mit Verkürzung der Hublänge während der Konturerzeugung das Spindeldrehmoment sinkt. Vor allem in der letzten Phase, wenn die Hublänge etwa der axialen Länge der Schneidstoffkörper entspricht oder diese sogar unterschreitet, ist ein deutliches Absinken des Drehmoments zu erkennen. Dies führt dazu, dass sich die Schneidstoffkörper in diesem Bereich freischneiden können, und unter Umständen im unteren Bereich des konischen Abschnitts der Bohrung unerwünschte Formabweichungen entstehen können.

[0056] Fig. 5 zeigt beispielhaft ein Messdiagramm einer auf diese Weise gehonten Bohrung (Bohrungslänge ca. 100 - 150 mm) mit einer Sollgeometrie entsprechend Fig. 3. Am eintrittsabgewandten Bereich, also im Bereich größten Durchmessers des konischen zweiten Bohrungsabschnitts, ist eine Formauffälligkeit FA zu erkennen, die sich auf etwa 10 mm bis 15 mm Länge erstreckt und auf die genannten Effekte des Freischneidens und der Reduzierung der Werkzeugstabilisierung zurückgeführt wird.

[0057] Deutliche Verbesserungen hinsichtlich der resultierenden Bohrungsform wurden bei einer Verfahrensführung erreicht, bei der in der Hubveränderungsphase (zweite Honphase PH2) simultan zur schrittweisen Verringerung der Hublänge die Drehzahl des Spindel motors (Spindelantrieb 118) linear von einer Startdrehzahl DZ1 zu Beginn der zweiten Honphase auf eine Enddrehzahl DZ2 am Ende der zweiten Honphase reduziert wurde (vgl. Fig. 6). Die Hublänge wurde in gleicher Weise wie bei der im Zusammenhang mit Fig. 4 erläuterten Referenz-Honoperation innerhalb der zweiten Honphase PH2 bei konstant gehaltenem unteren Umkehrpunkt inkrementell reduziert. Es ist erkennbar, dass durch eine konstante Drehzahlreduzierung ein im We-

sentlichen konstantes Spindeldrehmoment DM erzielt werden kann. Ein unerwünschtes Freischneiden des Honwerkzeugs wird über die gesamte Bohrungslänge verhindert, insbesondere auch in der oben diskutierten kritischen Phase gegen Ende der Honoperation, in welcher der Eintrittsferne Bereich mit relativ kleinen Hübten bearbeitet wird. Die Drehzahl kann von Hub zu Hub inkrementell geändert werden. Das Drehzahlinkrement DZI lässt sich gemäß $DZI = (DZ1 - DZ2) / HI$ aus dem Verhältnis zwischen der Differenz der Startdrehzahl $DZ1$ und der Enddrehzahl $DZ2$ dividiert durch die Hubintervalle HI berechnen bzw. vorgeben. Genau wie bei der Referenz-Honoperation wird auch hier mit konstanter Aufweitung, das heißt mit konstanter Zustellgeschwindigkeit, gefahren.

[0058] Eine andere Art der Optimierung der Honoperation kann durch eine prozessintegrierte Drehmomentsteuerung erzielt werden. Die Bearbeitungsmaschine war dabei so eingerichtet, dass durch ein frei programmierbares Soll-drehmoment über die gesamte zu honende Bohrungslänge die Drehzahl der Spindel gesteuert werden konnte. Ein entsprechendes Diagramm für die Zeitabhängigkeit der Hubposition HP, der Drehzahl DZ und des gemittelten Spindeldrehmoments DM ist in Fig. 7 gezeigt. Dabei ist das Steuerungssystem so programmiert, dass bei einer prozessbedingten Drehmomentveränderung eine automatische Veränderung der Drehzahl stattfindet, so dass das Drehmoment die Drehzahl regelt. Wenn das Ist-Drehmoment eine untere Grenze eines Drehmoment-Fensters DMF unterschreitet, wird auch die Drehzahl DZ reduziert, so dass die Ist-Drehzahl kleiner als die Soll-Drehzahl wird. Umgekehrt wird die Ist-Drehzahl über den Wert der Soll-Drehzahl angehoben, wenn das aktuelle Ist-Drehmoment das Soll-Drehmoment um mehr als einen zulässigen Betrag überschreitet und nach oben aus dem Drehmoment-Fenster DMF auswandert. Auch auf diese Weise kann ein unerwünschtes Freischneiden des Werkzeugs über die gesamte Bohrungslänge verhindert werden. Diese Steuerung wirkt sich dann so aus, dass in Phasen ohne Änderung des Drehmoments auch die Drehzahl konstant bleibt, während bei zu starkem Absinken des Drehmoments auch die Drehzahl reduziert und bei zu starkem Ansteigen des Drehmoments die Drehzahl erhöht wird. Das Drehmoment bleibt dadurch "im Wesentlichen konstant", da es (bis auf die kurzen Zeitintervalle vor dem Regeleingriff) innerhalb des zugelassenen Drehmoment-Fensters DMF bleibt.

[0059] Eine weitere Möglichkeit zur günstigen Beeinflussung einer Formhonoperation zur Erzeugung eines axialen Konturverlaufs besteht darin, eine unabhängige Hubverlagerung am oberen Umkehrpunkt UO und am unteren Umkehrpunkt UU zuzulassen bzw. vorzugeben. Beispielsweise könnte die axiale Lage des unteren Umkehrpunkts über die gesamte Hubveränderungsphase (zweite Honphase PH2) konstant bleiben, während sich der obere Umkehrpunkt inkrementell dem unteren Umkehrpunkt annähert, so dass die Hublänge von Hub zu

Hub reduziert wird bei unveränderter Lage des unteren Umkehrpunkts (z.B. ähnlich wie bei der Verfahrensführung in Fig. 6 oder Fig. 7). Dies kann in vielen Fällen ausreichen.

[0060] Zusätzliche Freiheitsgrade ergeben sich bei einer Verfahrensvariante, bei der sowohl die Lage des oberen Umkehrpunkts UO als auch die Lage des unteren Umkehrpunkts UU als Funktion der Zeit bzw. als Funktion des Hubs gezielt verändert wird. Bei der Beispiel-Honoperation aus Fig. 8 beginnt die Honoperation mit einer ersten Honphase PH1, bei der, wie in den anderen Beispielen, das Honwerkzeug die gesamte Bohrungslänge mit entsprechend großem Hub bearbeitet. Dann wird auf die zweite Honphase PH2 umgeschaltet. Während der zweiten Honphase wird der obere Umkehrpunkt UO inkrementell von Hub zu Hub in Richtung des bohrungsfernen Endes verlagert. Der untere Umkehrpunkt UU wird unmittelbar nach Ende der ersten Honphase PH1 über seinen gewünschten Wert am Ende der zweiten Honphase (horizontale gestrichelte Linie) angehoben, so dass die Hublänge kürzer ist als in einem vergleichbaren Fall ohne Veränderung der Lage des unteren Umkehrpunkts. Dann wird die Lage des unteren Umkehrpunkts von Hub zu Hub inkrementell abgesenkt, bis der untere Umkehrpunkt seine auch am Ende der zweiten Honphase gewünschte Position erreicht. Die untere Hublage kann beispielsweise um ca. 0,1 mm/Hubinkrement abgesenkt werden. Es hat sich gezeigt, dass hierdurch in manchen Fällen der Verlauf des Drehmoments im Vergleich zu einem unveränderten unteren Umkehrpunkt im Sinne einer besseren Konstanz verbessert werden kann.

[0061] In vielen Fällen sind die Makroform der Bohrung und die Mikrostruktur der Bohrungsinnenfläche nach der Hubveränderungsphase innerhalb der vorgegebenen Spezifikation so gut, dass die Honbearbeitung mit der Hubveränderungsphase abschließen kann und das Werkstück danach fertig bearbeitet ist. In diesem Fall kann die Hubveränderungsphase die letzte Phase der Honbearbeitung sein. Es ist jedoch auch möglich, mindestens eine weitere Honphase mit bestimmten Honparametern nachzuschalten.

[0062] Es kann beispielsweise Fälle geben, in welchen es sich bei der zu erzeugenden Formhonung nicht um eine Glatt- oder Feinhonung handelt. In diesen Fällen ist in der Regel für die fertig bearbeitete Bohrung ein zu erzeugender Honwinkel definiert, z.B. ein Honwinkel im Bereich von 40° bis 60° bei einer konventionellen Platteuhonung. Bedingt durch die Hubverlagerung während der Konturerzeugung kann es sein, dass in diesem Bereich andere als die gewünschten Honwinkel entstehen, z.B. Honwinkel von weniger als 15°. Dies kann in manchen Fällen bei der nachfolgenden, Honoperation nicht mehr korrigiert werden. Es ist auch möglich, dass bei der Erzeugung der Kontur durch die Hubverlagerung ein "Stufenprofil" an der Bohrungsinnenfläche erzeugt. Dies kann bei ungünstigem Schneidverhalten der nachfolgenden Honphasen unter Umständen nicht mehr ausreichend egalisiert werden. Außerdem kann es sein, dass

keine gezielte Möglichkeit zur Verrundung des Übergangs vom zylindrischen zum konischen Bohrbereich existiert. Weiterhin kann es vorkommen, dass es an lokalen Problembereichen einzelner Bauteile schwierig ist, konstant gute Form- und Rundheitswerte zu erzielen. Beispielsweise kann es Abschnitte mit schwacher Zylinderrohranbindung geben, in welchen es schwierig sein kann, die geforderte Rundheit zu erzielen.

[0063] Insbesondere in solchen Fällen kann eine zusätzliche weitere Honphase (dritte Honphase) mit frei wählbarer Hublage, Hubgeschwindigkeit, Drehzahl, Aufweitkraft, Aufweitgeschwindigkeit und Betriebsart (Aufweitung: Kraft/Weg) vorgesehen sein.

[0064] Die Honparameter können z.B. so eingestellt werden, dass nach der Konturerzeugung praktisch jeder Honwinkel erzeugt werden kann. Ein anderer Satz von Honparametern kann eingestellt werden, um nach der Konturerzeugung ein evtl. vorhandenes "Stufenprofil" zu egalisieren und/oder um Übergänge zu "verrunden". Alternativ oder zusätzlich kann eine dritte Honphase als positionsbezogenes Ausfeuern programmiert werden, um an lokalen Problembereichen einzelner Bauteile (Bsp.: schwache Zylinderrohranbindung) die Rundheit positiv zu beeinflussen. Es hat sich gezeigt, dass dadurch prozesssichere Rundheitswerte auch an labil angebundenen Zylinderrohren erzielbar sind.

Patentansprüche

1. Honverfahren zur Bearbeitung der Innenfläche (318) einer Bohrung in einem Werkstück (106) mithilfe mindestens einer Honoperation, insbesondere zum Honen von Zylinderlaufflächen bei der Herstellung von Zylinderblöcken oder Zylinderlaufbuchsen für Hubkolbenmaschinen, worin

während einer Honoperation ein an eine Spindel (116) angekoppeltes, aufweitbares Honwerkzeug (200) innerhalb der Bohrung zur Erzeugung einer Hubbewegung in Axialrichtung der Bohrung hin und her bewegt und gleichzeitig zur Erzeugung einer der Hubbewegung überlagerten Drehbewegung mit einem über die Spindel (116) übertragenen Drehmoment gedreht wird, eine in Bezug auf eine Bohrungssachse (312) rotationssymmetrische, von der Kreiszyylinderform abweichende Bohrungsform mit einem axialen Konturverlauf erzeugt wird, und zur Erzeugung eines axial variierenden Materialabtrags in mindestens einer Hubveränderungsphase (PH2) eine Hublänge und/oder eine Hublage der Hubbewegung verändert wird, **gekennzeichnet durch**

eine Steuerung des über die Spindel (116) auf das Honwerkzeug (200) übertragenen Drehmoments (DM) in der Weise, dass das Drehmoment während der Hubveränderungsphase der-

art im Wesentlichen konstant bleibt, dass eine Abweichung des über einen Hub gemittelten Drehmoments von einem Drehmoment-Sollwert weniger als 15% beträgt.

2. Honverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Steuerung des Drehmoments (DM) in mindestens einer Drehzahlveränderungsphase eine von der Hublänge abhängige Veränderung der Drehzahl (DZ) des Honwerkzeugs (200) in der Weise erzeugt wird, dass die Drehzahl bei Reduzierung der Hublänge reduziert wird.
3. Honverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Veränderung der Drehzahl (DZ) nach Maßgabe einer vorgegebenen Drehzahlveränderungsfunktion erfolgt.
4. Honverfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Veränderung der Drehzahl (DZ) in Abhängigkeit von der Hublänge gesteuert wird in der Weise, dass die Drehzahl jedenfalls dann reduziert wird, wenn die Hublänge weniger als 150%, insbesondere weniger als 100% der axialen Länge von Schneidstoffkörpern (220-1, 220-2, 220-3) des Honwerkzeugs entspricht.
5. Honverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** empirisch oder theoretisch bestimmte Zusammenhänge zwischen Hublänge und Drehzahl für bestimmte Kombinationen von Werkzeug- und Werkstücktypen in einem Speicher einer Steuereinrichtung (180) einer Bearbeitungsmaschine (100) in Form geeigneter Datensätze hinterlegt werden und auf diese Daten bei der Programmierung der Steuerung für einen Honprozess zugegriffen wird.
6. Honverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Regelung des Drehmoments (DM) eines zur Drehung der Spindel vorgesehenen Spindelantriebs (118).
7. Honverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** an dem Spindelantrieb (118) ein das aktuelle Drehmoment des Spindelantriebs repräsentierendes Drehmoment-Signal erfasst und mit einem Sollwert des Drehmoments repräsentierenden Sollwert-Signal zur Ermittlung einer Sollwertabweichung verglichen wird und eine Steuerung des Drehmoments des Spindelantriebs in Abhängigkeit von der Sollwertabweichung erfolgt.
8. Honverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Sollverlauf des Sollwert des Drehmoments für eine Honoperation vorgegeben und eine Drehzahl nach Maßgabe des Soll-Verlaufs gesteuert wird.

9. Honverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Veränderung der Hublänge und/oder der Hublage während der Hubveränderungsphase (PH2) eine Position eines oberen Umkehrpunkts (UO) und/oder eine Position eines unteren Umkehrpunkts (UU) einer Hubbewegung nach Maßgabe einer Voreinstellung verändert wird. 5
10. Honverfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens über eine Phase die Position eines oberen Umkehrpunkts (UO) und die Position des unteren Umkehrpunkts (UU) zwischen aufeinander folgenden Hübten verändert wird. 10
11. Honverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Honwerkzeug (200) verwendet wird, das mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweist: 15
- (i) an der ringförmigen Schneidgruppe (220) sind mehr als 60% des Umfangs mit Schneidmittel belegt, insbesondere mehr als 70% oder mehr als 80% des Umfangs der Schneidgruppe; 20
 - (ii) die axiale Länge (LHS) der Schneidstoffkörper liegt bei weniger als 50% des wirksamen Außendurchmessers der Schneidgruppe, insbesondere zwischen 10% und 30% dieses Außendurchmessers; 25
 - (iii) die axiale Länge (LHS) der Schneidstoffkörper liegt im Bereich von 5 mm bis 90 mm; 30
 - (iv) die axiale Länge (LHS) der Schneidstoffkörper beträgt weniger als 35% der Bohrungslänge der Bohrung. 35
12. Honverfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schneidstoffkörper als in Umfangsrichtung breite und in Axialrichtung schmale Honsegmente (220-1, 220-2, 220-3) gestaltet sind, wobei eine in Axialrichtung gemessene axiale Länge (LHS) der Honsegmente kleiner als die in Umfangsrichtung gemessene Breite ist. 40
13. Honverfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schneidgruppe mindestens drei Honsegmente (220-1, 220-2, 220-3) aufweist, wobei vorzugsweise drei, vier, fünf oder sechs Honsegmente gleicher oder unterschiedlicher Umfangsbreite vorgesehen sind. 45
14. Bearbeitungsmaschine (100) zur Feinbearbeitung einer Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück (106) mithilfe mindestens einer Honoperation, insbesondere zum Honen von Zylinderlaufflächen bei der Herstellung von Zylinderblöcken oder Zylinderlauffbuchsen für Hubkolbenmaschinen, mit mindestens einer Spindel (116) zur Bewegung eines an die Spindel angekuppelten Honwerkzeuges (200) inner-

halb der Bohrung derart, dass durch mindestens einen an dem Honwerkzeug angebrachten Schneidstoffkörper (220-1, 220-2, 220-3) eine Bearbeitung der Innenfläche (318) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bearbeitungsmaschine dafür konfiguriert ist, ein Honverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 an dem Werkstück durchzuführen.

15. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuereinrichtung (180) der Bearbeitungsmaschine eine Einrichtung zur Einstellung eines Drehmoment-Sollwerts und eines Drehmoment-Fensters um den Drehmoment-Sollwert aufweist. 15

Claims

1. Honing method for machining the internal face (318) of a bore in a workpiece (106) with the aid of at least one honing operation, in particular for honing cylinder running faces in the production of cylinder blocks or cylinder liners for reciprocating piston engines, wherein 20

during a honing operation a flaring-capable honing tool (200) that is coupled to a spindle (116) is moved back and forth within the bore for generating a reciprocating movement in the axial direction of the bore, and is simultaneously rotated for generating a rotating movement superimposed to the reciprocating movement with a torque transmitted by way of the spindle (116), a bore shape having an axial contour profile, which is rotationally symmetrical in relation to a bore axis (312) and deviates from the circular cylindrical shape, is generated, and for generating an axially variable material removal in at least one stroke modification phase (PH2) a stroke length and/or a stroke orientation of the reciprocating movement is modified, 25

characterized by

controlling the torque (DM) transmitted by way of the spindle (116) to the honing tool (200) in such a manner that the torque remains substantially constant during the stroke modification phase such that a deviation of the torque, averaged across a stroke, from a torque nominal value is less than 15%. 35

2. Honing method according to claim 1, **characterized in that** for controlling the torque (DM) in at least one rotating speed modification phase a variation of the rotating speed (DZ) of the honing tool (200) is generated as a function of the stroke length in such a manner that the rotating speed is reduced upon reducing of the stroke length. 50

3. Honing method according to claim 2, **characterized in that** the variation of the rotating speed (DZ) is made according to a predefined rotating speed variation function. 5
4. Honing method according to any of claims 2 or 3, **characterized in that** a variation of the rotating speed (DZ) is controlled as a function of the stroke length in such a manner that the rotating speed is reduced in any case when the stroke length corresponds to less than 150%, in particular less than 100%, of the axial length of cutting material members (220-1, 220-2, 220-3) of the honing tool. 10
5. Honing method according to any of the preceding claims, **characterized in that** empirically or theoretically determined interrelations between stroke length and rotating speed for certain combinations of tool and workpiece types are recorded in a memory of a controller device (180) of a processing machine (100) in the form of appropriate data sets and said data are accessed during programming of the controller for a honing process. 15 20
6. Honing method according to any of the preceding claims, **characterized by** regulation of the torque (DM) of a spindle drive (118) provided for rotating the spindle. 25
7. Honing method according to claim 6, **characterized in that**, on the spindle drive (118), a torque signal representing the current torque of the spindle drive is detected and compared to a nominal value signal representing a nominal value of the torque for evaluation of a nominal value deviation and controlling the torque of the spindle drive is made as a function of the nominal value deviation. 30 35
8. Honing method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a nominal contour profile of the nominal value of the torque for a honing operation is predefined and a rotating speed is controlled according to the nominal contour profile. 40
9. Honing method according to any of the preceding claims, **characterized in that** for variation of the stroke length and/or the stroke orientation during the stroke modification phase (PH2) a position of an upper reversal point (UO) and/or a position of a lower reversal point (UU) of a stroke movement is varied according to a predefined setting. 45 50
10. Honing method according to claim 9, **characterized in that** at least across a phase the position of an upper reversal point (UO) and the position of a lower reversal point (UU) between successive strokes is varied. 55
11. Honing method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a honing tool (200) is used which has at least one of the following properties:
 - (i) on the annular cutting group (220) more than 60% of the circumference are equipped with cutting means, in particular more than 70% or more than 80% of the circumference of the cutting group;
 - (ii) the axial length (LHS) of the cutting material members is less than 50% of the effective external diameter of the cutting group, in particular between 10% and 30% of said external diameter;
 - (iii) the axial length (LHS) of the cutting material members is in a range from 5 mm to 90 mm;
 - (iv) the axial length (LHS) of the cutting material members is less than 35% of the bore length of the bore.
12. Honing method according to claim 11, **characterized in that** the cutting material members are configured as honing segments (220-1, 220-2, 220-3) that are wide in the circumferential direction and narrow in the axial direction, wherein an axial length (LHS) of the honing segments measured in the axial direction is smaller than the width measured in the circumferential direction.
13. Honing method according to claim 11 or 12, **characterized in that** the cutting group includes at least three honing segments (220-1, 220-2, 220-3), wherein preferably three, four, five or six honing segments having the same or different circumferential widths are provided.
14. Processing machine (100) for fine machining an internal face of a bore in a workpiece (106) with the aid of at least one honing operation, in particular for honing cylinder running faces in the production of cylinder blocks or cylinder liners for reciprocating piston engines, comprising at least one spindle (116) for moving a honing tool (200) coupled to the spindle within the bore such that, by means of at least one cutting material member (220-1, 220-2, 220-3) attached to the honing tool, machining of the internal face (318) is performed, **characterized in that** the processing machine is configured to carry out a honing method according to any of claims 1 to 13 on the workpiece.
15. Processing machine according to claim 14, **characterized in that** a controller device (180) of the processing machine has a device for adjusting a torque nominal value and a torque frame about the torque nominal value.

Revendications

1. Procédé de rodage destiné à traiter la surface intérieure (318) d'un alésage ménagé dans une pièce (106) à l'aide d'au moins une opération de rodage, destinée en particulier à roder des surfaces de contact de cylindre lors de la fabrication de blocs-cylindres ou de chemises de cylindre pour machines à pistons alternatifs, procédé dans lequel

pendant une opération de rodage, un outil de rodage extensible (200), accouplé à une broche (116), est déplacé suivant un mouvement alternatif à l'intérieur de l'alésage afin de générer un mouvement de course dans la direction axiale de l'alésage et en même temps est déplacé en rotation afin de générer un mouvement de rotation, superposé au mouvement de course, avec un couple transmis par le biais de la broche (116),

une forme d'alésage, qui est à symétrie de révolution par rapport à un axe d'alésage (312) et qui s'écarte de la forme cylindrique circulaire, est générée avec un profil de contour axial, et une longueur de course et/ou une position de course du mouvement de course est modifiée afin de générer un enlèvement de matière qui varie axialement dans au moins une phase de variation de course (PH2), **caractérisé par** une commande du couple (DM), transmis par le biais de la broche (116) à l'outil de rodage (200), de manière à ce que le couple reste sensiblement constant pendant la phase de variation de course de telle sorte que le couple moyenné sur une course s'écarte de moins de 15 % d'une valeur de couple cible.

2. Procédé de rodage selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, afin de commander le couple (DM) dans au moins une phase de variation de vitesse de rotation, une variation de la vitesse (DZ) de l'outil de rodage (200), laquelle variation dépend de la longueur de course, est générée de façon à générer la vitesse de rotation lorsque la longueur de course est réduite.
3. Procédé de rodage selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la variation de vitesse de rotation (DZ) est effectuée conformément à une fonction de variation de vitesse de rotation spécifiée.
4. Procédé de rodage selon l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'une** variation de la vitesse de rotation (DZ) est commandée en fonction de la longueur de course de telle sorte que la vitesse de rotation soit réduite dès que la longueur de course correspond à moins de 150 %, notamment moins de 100 %, de la longueur axiale de corps de matière de

coupe (220-1, 220-2, 220-3) de l'outil de rodage.

5. Procédé de rodage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** des relations déterminées empiriquement ou théoriquement entre la longueur de course et la vitesse de rotation pour des combinaisons déterminées de types d'outils et de pièces sont stockées dans une mémoire d'un dispositif de commande (180) d'une machine de traitement (100) sous la forme d'ensembles de données appropriés et ces données sont consultées lors de la programmation de la commande en vue d'un processus de rodage.
6. Procédé de rodage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé par** une régulation du couple (DM) d'un entraînement de broche (118) prévu pour faire tourner la broche.
7. Procédé de rodage selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'un** signal de couple de rotation, représentatif du couple actuel de la broche d'entraînement, est détecté au niveau de l'entraînement de broche (118) et est comparé à un signal de valeur cible, représentatif d'une valeur cible du couple de rotation, pour déterminer un écart de valeur cible et une commande du couple de l'entraînement de broche est effectuée en fonction de l'écart de valeur cible.
8. Procédé de rodage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** profil cible de la valeur cible du couple est spécifié pour une opération de rodage et une vitesse de rotation est commandée conformément au profil cible.
9. Procédé de rodage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pour faire varier la longueur de course et/ou la position de course pendant la phase de variation de course (PH2), une position d'un point d'inversion supérieur (UO) et/ou une position d'un point d'inversion inférieur (UU) d'un mouvement de course est modifiée conformément à un préréglage.
10. Procédé de rodage selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la position d'un point d'inversion supérieur (UO) et la position du point d'inversion inférieur (UU) sont modifiées entre des courses successives sur au moins une phase.
11. Procédé de rodage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** outil de rodage (200) est utilisé qui présente l'une au moins des propriétés suivantes :
 - (i) au niveau du groupe de coupe annulaire (220) plus de 60 % de la circonférence, en particulier

- plus de 70 % ou plus de 80 % de la circonférence du groupe de coupe, sont garnis de moyens de coupe ;
- (ii) la longueur axiale (LHS) des corps de matière de coupe est inférieure à 50 % du diamètre extérieur effectif du groupe de coupe, notamment est comprise entre 10 % et 30 % de ce diamètre extérieur ; 5
- (iii) la longueur axiale (LHS) des corps de matière de coupe est dans la gamme allant de 5 mm à 90 mm ; 10
- (iv) la longueur axiale (LHS) des corps de matière de coupe est inférieure à 35 % de la longueur de l'alésage. 15
12. Procédé de rodage selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les corps de matière de coupe sont réalisés sous la forme de segments de rodage (220-1, 220-2, 220-3) larges dans la direction circonférentielle et étroits dans la direction axiale, une longueur axiale (LHS) des segments de rodage, mesurée dans la direction axiale, étant inférieure à la largeur mesurée dans la direction circonférentielle. 20
13. Procédé de rodage selon la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** le groupe de coupe comporte au moins trois segments de rodage (220-1, 220-2, 220-3), de préférence trois, quatre, cinq ou six segments de rodage étant prévus qui ont des largeurs circonférentielles identiques ou différentes. 25 30
14. Machine de traitement (100) destinée au traitement fin d'une surface intérieure d'un alésage ménagé dans une pièce (106) à l'aide d'au moins une opération de rodage, destinée en particulier à roder des surfaces de contact de cylindre lors de la fabrication de blocs-cylindres ou de chemises de cylindres de machines à pistons alternatifs, ladite machine de traitement comprenant au moins une broche (116) destinée à déplacer un outil de rodage (200), accouplé à la broche, à l'intérieur de l'alésage de telle sorte que la surface intérieure (318) soit traitée par au moins un corps de matière de coupe (220-1, 220-2, 220-3) monté sur l'outil de rodage, **caractérisée en ce que** la machine de traitement est configurée pour mettre en œuvre un procédé de rodage selon l'une des revendications 1 à 13 sur la pièce. 35 40 45
15. Machine de traitement selon la revendication 14, **caractérisée en ce qu'un** dispositif de commande (180) de la machine de traitement comporte un dispositif de réglage d'une valeur cible de couple et une fenêtre de couple autour de la valeur cible de couple. 50

55

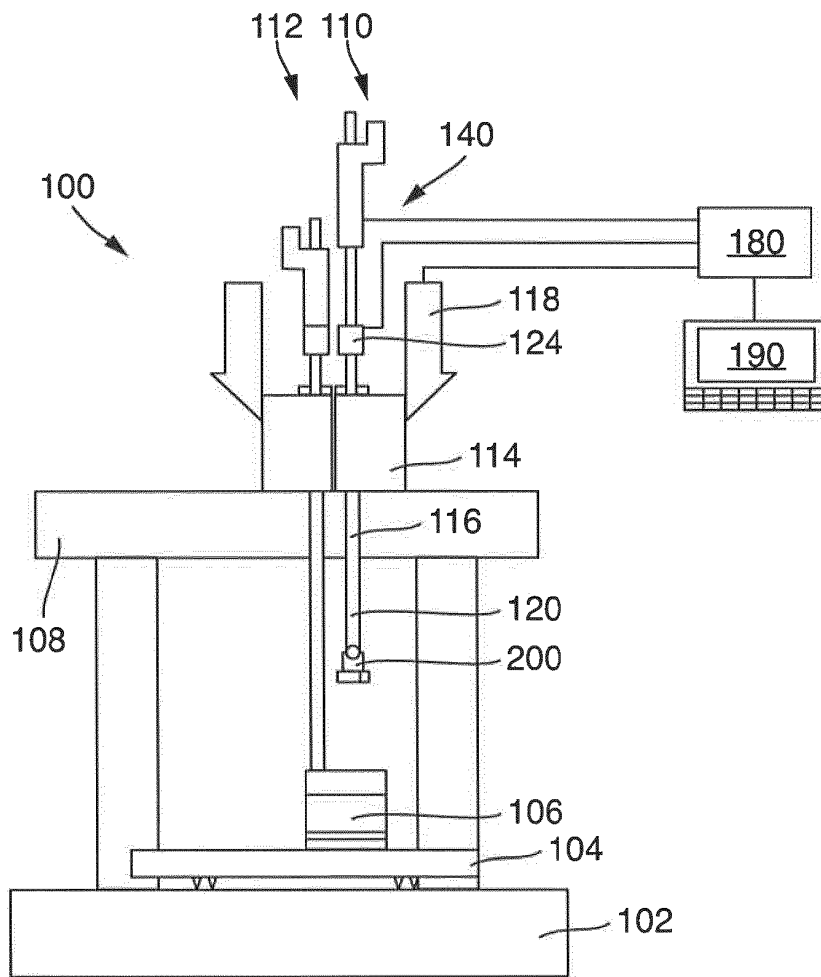


Fig. 1

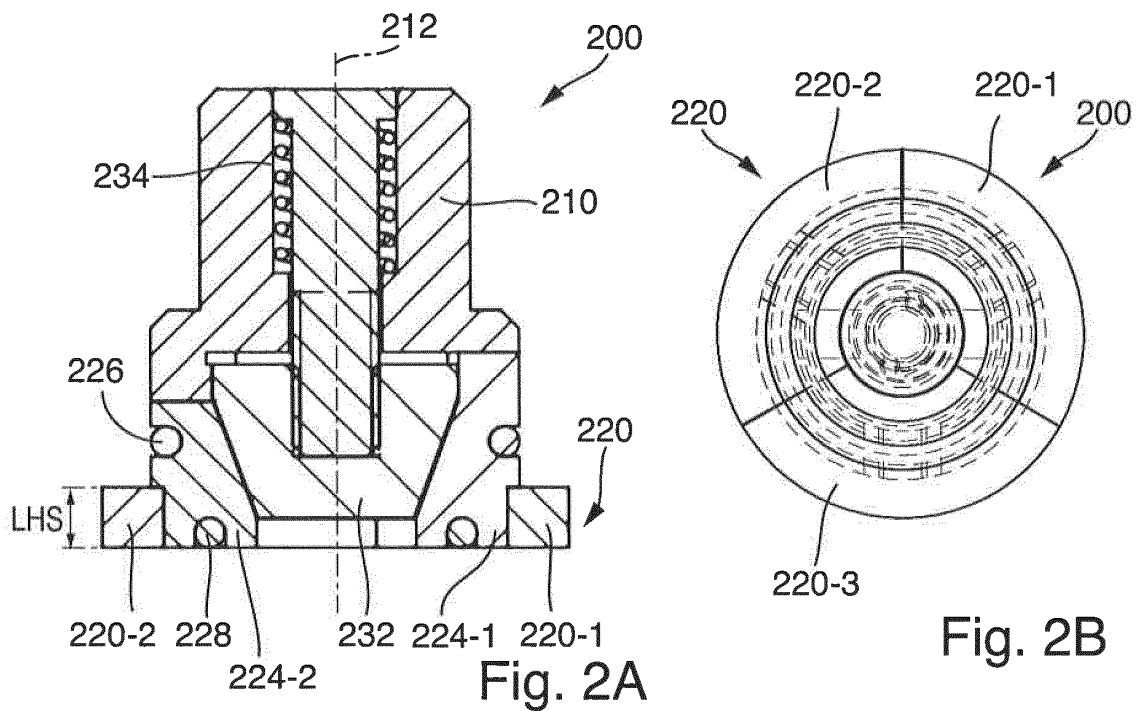


Fig. 2A

Fig. 2B

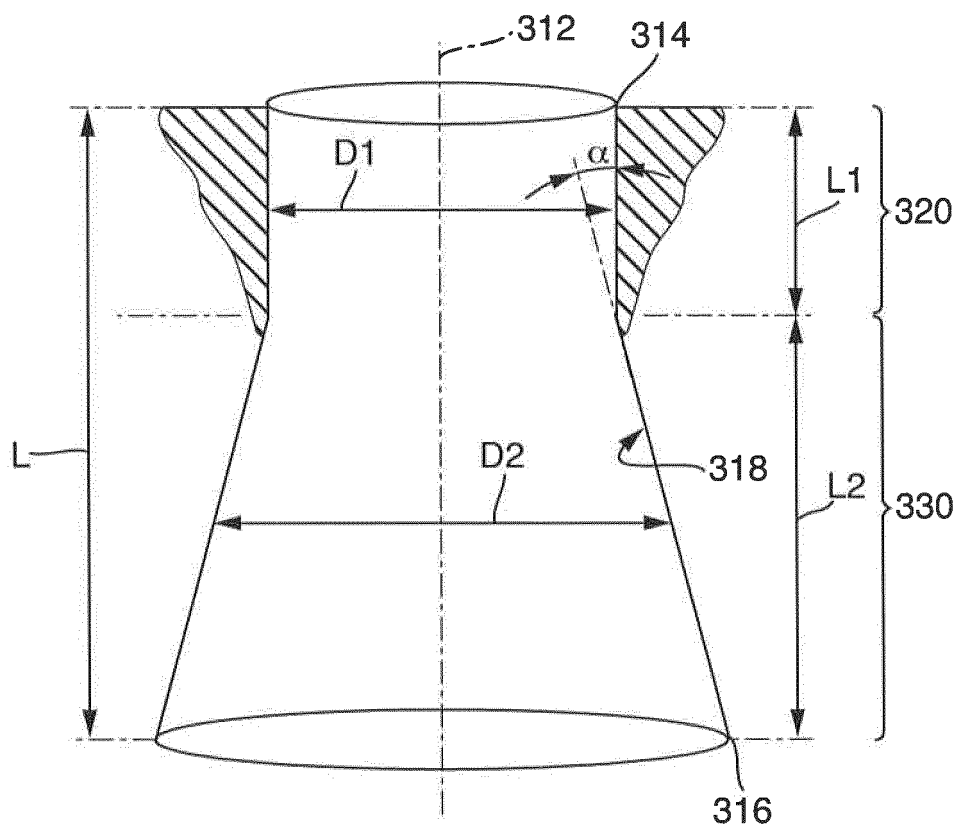


Fig. 3

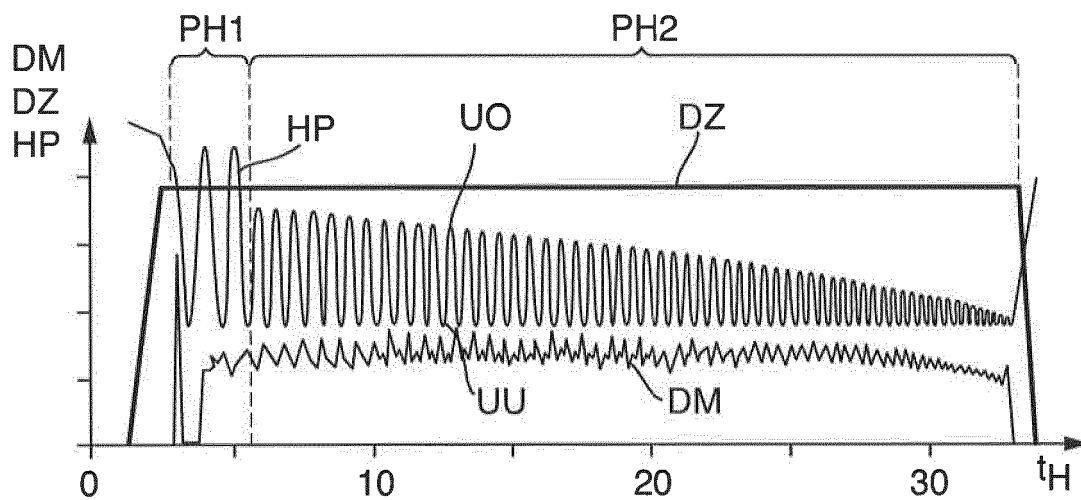


Fig. 4 (REF)

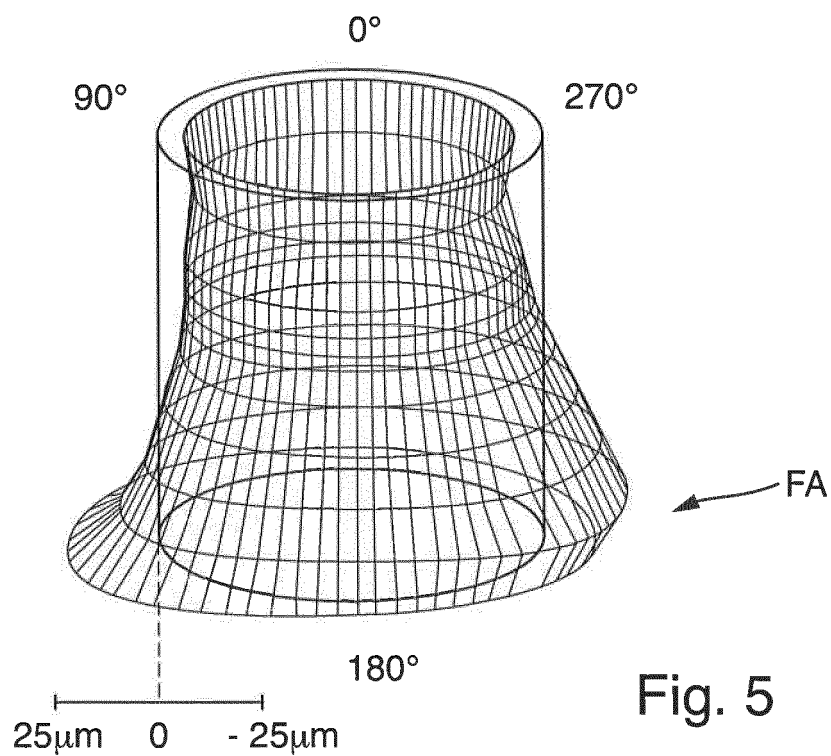


Fig. 5

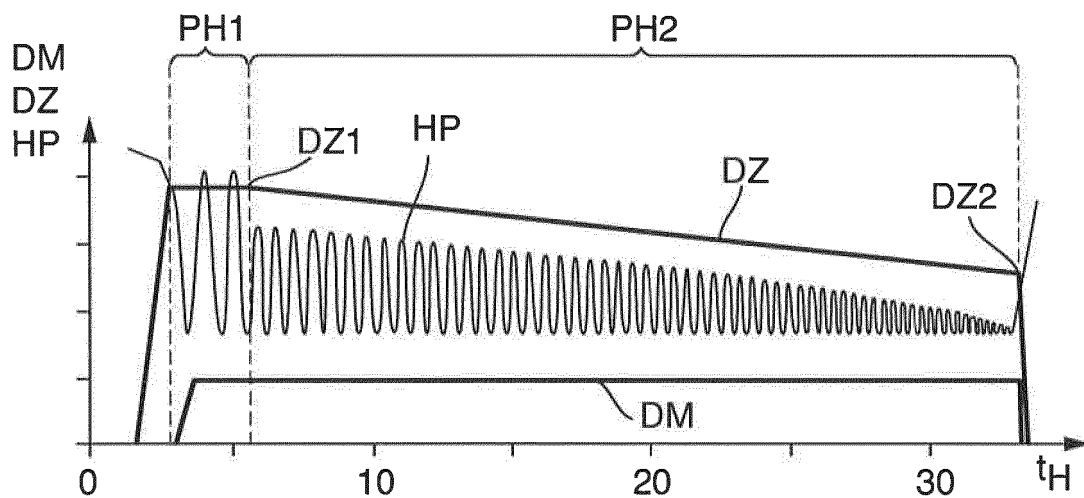


Fig. 6

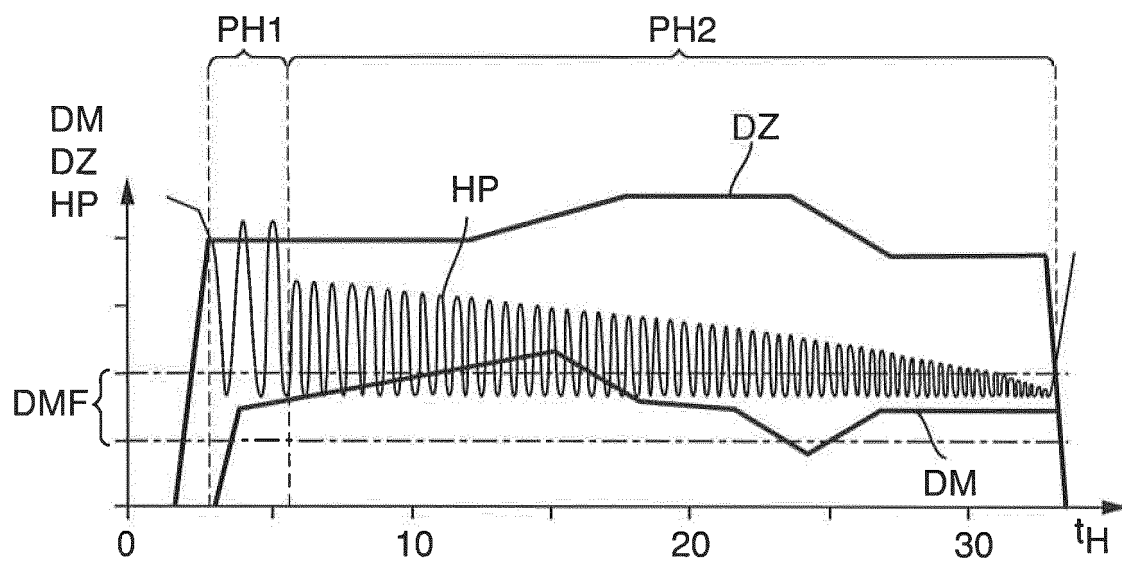


Fig. 7

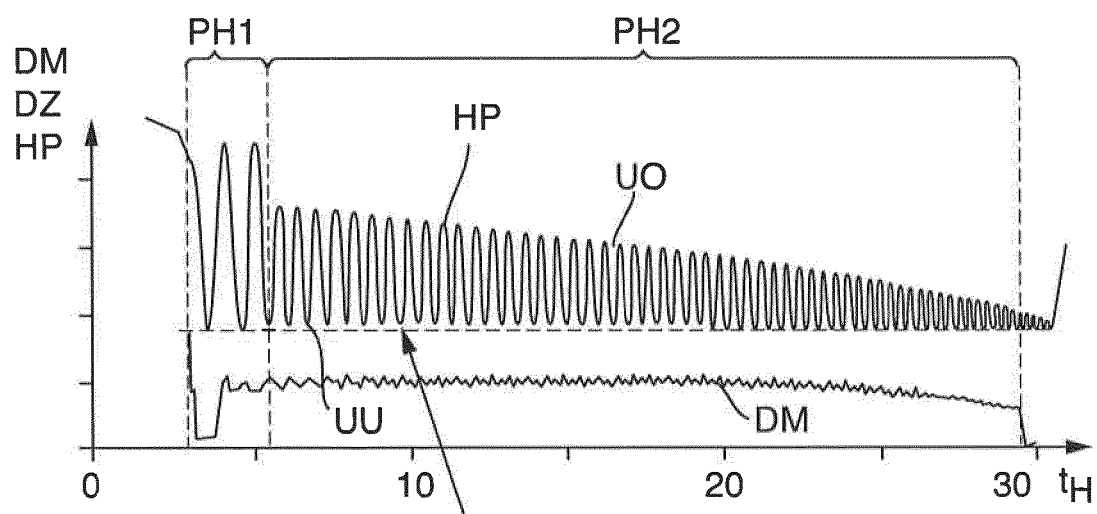


Fig. 8

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

- EP 1790435 B1 [0008]
- WO 2014146919 A1 [0009] [0027]