

(19)



(11)

EP 1 815 943 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.08.2007 Patentblatt 2007/32

(51) Int Cl.:
B24B 33/02 (2006.01) B24B 33/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06002093.0**

(22) Anmeldetag: **02.02.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder:
• **Nagel, Wolf**
72631 Aichtal-Aich (DE)
• **Weigmann, Uwe-Peter**
72622 Nürtingen (DE)

(71) Anmelder: **NAGEL Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH**
D-72622 Nürtingen (DE)

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

(54) **Verfahren und Honen von Bohrungen sowie Honmaschine hierfür**

(57) Bei einem Verfahren zum Honen der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück, insbesondere zum Honen einer Zylinderlauffläche bei der Herstellung von Zylinderblöcken für Brennkraftmaschinen, wird ein Honwerkzeug innerhalb der Bohrung bewegt und eine an dem Honwerkzeug angebrachte Schneidgruppe mit mindestens einem Schneidstoffkörper wird zur materialabtragenden Bearbeitung der Innenfläche mit einer Zustellkraft an die Innenfläche angedrückt. Es werden eine Schwingungsbewegung der Schneidgruppe im We-

sentlichen parallel zur Innenfläche nach Maßgabe mindestens eines Schwingungsparameters und eine der Schwingungsbewegung überlagerten Verschiebungsbewegung der Schneidgruppe entlang der Innenfläche nach Maßgabe mindestens eines Verschiebungsparameters erzeugt. Durch Steuerung der Schwingungsbewegung und/oder der Verschiebungsbewegung kann auch bei konstant gehaltener Zustellkraft ein über die Innenfläche lokal variierender Materialabtrag an der Innenfläche erreicht werden, um eine vorgegebene Sollform der Bohrung zu erzeugen.

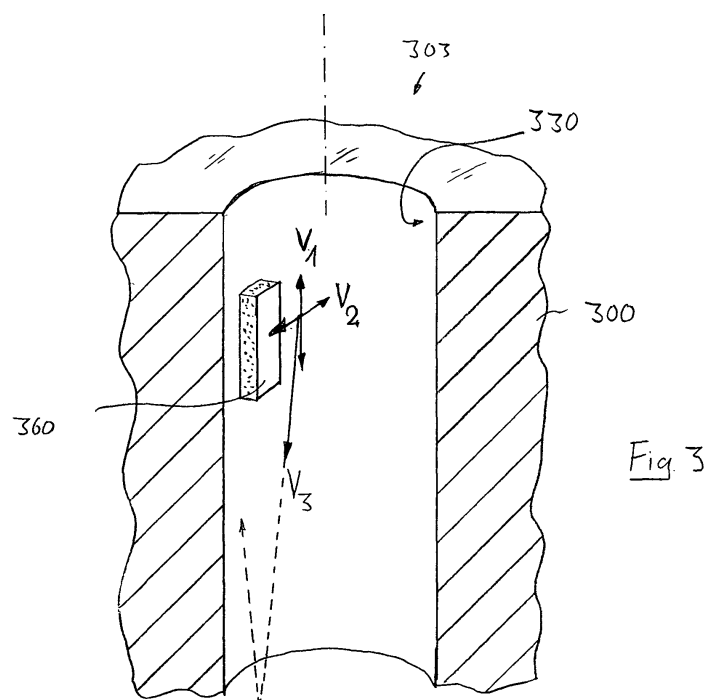


Fig. 3

EP 1 815 943 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Honen der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück, insbesondere zum Honen einer Zylinderlauffläche bei der Herstellung von Motorblöcken für Brennkraftmaschinen, sowie eine Honmaschine, die besonders zur Durchführung des Verfahrens geeignet und ausgestaltet ist.

[0002] Bei der Herstellung von Zylinderblöcken von Brennkraftmaschinen werden die Zylinderlaufflächen üblicherweise durch ein Honverfahren endbearbeitet. Beim Einsatz des Endbearbeitungsverfahrens Honen werden oft erhebliche Anstrengungen unternommen, um die geforderte Bauteilform mit einem möglichst geringen Formfehler zu erzielen.

[0003] Auch wenn unmittelbar im Anschluss an die Bearbeitung keine Formfehler vorhanden sind, geht oftmals nach der Montage oder im Betrieb des bearbeiteten Werkstücks die einsatzoptimale Bauteilgeometrie durch elastische und thermische Deformationen verloren. Beispielsweise ist es bekannt, dass die Montage des Zylinderkopfes auf einem Zylinderblock (Motorblock) zu einer nicht zu vernachlässigenden Deformation der Zylinderbohrungen vor allem im Bereich der Zylinderkopfschrauben führen kann. Während des Motorenbetriebes sollten jedoch die Kolbenringe, die durch die mechanische Deformation, aber auch durch thermische Deformationen verzogene Zylinderbohrung so ausfüllen, dass eine saubere Abdichtung des Brennraumes im Motorenbetrieb gewährleistet ist. Eine vollständige Anlage der Kolbenringe an der Zylinderbohrung mit einem möglichst gleichmäßigen und geringen Spiel zwischen Kolbenring und Zylinderinnenwand wird erleichtert, wenn der montierte und betriebswarme Motor Zylinderbohrungen mit geringem Zylinderformfehler besitzt. Bei zu großen Werten des Zylinderformfehlers ist die saubere Abdichtung durch die Kolbenringe nicht mehr gewährleistet, der Partikelaustritt des Motors steigt, der Wirkungsgrad vermindert sich, und die Lebensdauer des Systems kann sich verkürzen.

[0004] Zur Vermeidung derartiger Probleme ist in der DE 28 10 322 C2 vorgeschlagen worden, die Verschlechterung der Zylinderform der Zylinderbohrungen bei der Montage des Zylinderkopfes dadurch zu vermeiden, dass der Motorblock für die Honbearbeitung mit Hilfe einer Spaneinrichtung deformiert wird, die die spätere Deformation durch den Zylinderkopf simuliert. In dem gespannten Zustand, der dem später bei der Montage vorliegendem Zustand entspricht, findet die Honbearbeitung statt, danach wird die Verspannung wieder gelöst. Ein ähnlicher Vorschlag ist in der JP 11-267960 beschrieben.

[0005] Um zusätzlich die Verformung durch Temperatureinwirkung zu simulieren, ist es außerdem bekannt, das Werkstück mittels heißem Honöl aufzuheizen. Diese Verfahren sind jedoch aufwändig und teuer und mit hohen Sicherheitsrisiken für die Maschinenbediener verbunden. Sie werden daher nur für die Einzelfertigung, nicht jedoch in der Serienfertigung eingesetzt.

[0006] Die europäische Patentanmeldung EP 1 321 229 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung einer Bohrung, die in unbelastetem Zustand eine Ausgangsform aufweist und im Betriebszustand eine von der Ausgangsform abweichende Sollform. Das Verfahren umfasst die Ermittlung der Verformung einer Bohrung mit Sollform im Betriebszustand. Mittels der Sollform und der ermittelten Verformung wird die Ausgangsform ermittelt und die Bohrung wird durch ein Bearbeitungsverfahren in die Ausgangsform gebracht. Die nach dem Verfahren hergestellte Ausgangsform soll im Betriebszustand die gewünschte Sollform annehmen. Das Bearbeitungsverfahren zur Herstellung der Ausgangsform ist ein Honverfahren, bei dem der Zustelldruck mindestens eines an einem Honwerkzeug angebrachten Honsteins während der Bearbeitungszeit variiert wird.

[0007] In der Dissertationsschrift "Variables Formhonen durch rechnergestützte Honprozesssteuerung" von R. Zurrin, veröffentlicht in: wbk - Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, Band 26 (1990) wird vorgeschlagen, die beschriebenen Probleme durch das Fertigungsverfahren "Formhonen" zu beheben. Darunter wird in dieser Schrift ein Honen mit gesteuerter Vorschubbewegung verstanden, das es erlaubt, örtlich (hub- und winkellagenabhängig) verschiedene Abtragsraten während des Honprozesses zu erreichen, um eine Negativform der Verformungen mit einer definierten Oberfläche zu erzeugen (vergleiche insbesondere Seiten 10 bis 20). Das Formhonen wird am Beispiel von verformten Zylinderblöcken erläutert, bei denen die Zylinderbohrungen eine vierfachsymmetrische Unrundheit vierter Ordnung, d.h. eine Bohrungsform mit 4-zähliger Radialsymmetrie bezogen auf die Bohrungsachse, haben. Diese unrunde Bohrungsform wird durch Steuerung der Zustellkraft beziehungsweise des Anpressdruckes eines einfach aufweitenden Honwerkzeuges über den Hub und den Drehwinkel erreicht.

[0008] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Honen der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück bereitzustellen, das es ermöglicht, Bohrungen zu erzeugen, die auch bei starken Abweichungen von einer kreiszylindrischen Form eine gleichmäßige Oberflächenstruktur haben. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Honmaschine bereitzustellen.

[0009] Zur Lösung dieser und anderer Aufgaben stellt die Erfindung ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1, sowie eine Honmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 14 bereit. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

[0010] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Honen der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück, insbesondere zum Honen einer Zylinderlauffläche bei der Herstellung von Zylinderblöcken für Brennkraftmaschinen, wird ein Honwerkzeug innerhalb der Boh-

rung bewegt und mindestens eine an dem Honwerkzeug angebrachte Schneidgruppe mit mindestens einem Schneidstoffkörper zur materialabtragenden Bearbeitung der Innenfläche wird mit einer Zustellkraft an die Innenfläche angedrückt. Erfindungsgemäß wird eine Schwingungsbewegung der Schneidgruppe im wesentlichen parallel zur Innenfläche nach Maßgabe mindestens eines Schwingungsparameters sowie eine der Schwingungsbewegung überlagerte Verschiebungsbewegung der Schneidgruppe entlang der Innenfläche nach Maßgabe mindestens eines Verschiebungsparameters erzeugt und es erfolgt eine Steuerung der Schwingungsbewegung und/oder der Verschiebungsbewegung zur Erzeugung eines über die Innenfläche lokal variierenden Materialabtrags an der Innenfläche zur Erzeugung einer vorgegebenen Sollform der Bohrung.

[0011] Die Schwingungsbewegung bzw. Oszillationsbewegung der Schneidgruppe kann bezüglich der Schwingungsamplitude, der Schwingungsfrequenz und/oder der Schwingungsrichtung den Erfordernissen angepaßt werden. Die Verschiebungsbewegung kann kontinuierlich oder diskontinuierlich gesteuert werden, wobei als Verschiebungsparameter insbesondere die Verschiebungsrichtung und/oder die Verschiebungsgeschwindigkeit gesteuert werden. Die Verschiebungsbewegung wird normalerweise so gesteuert, dass jeder Bereich der Innenfläche durch mindestens einen Schneidstoffkörper einer Schneidgruppe erreicht und materialabtragend bearbeitet wird, so dass flächendeckend ein Materialabtrag erzielt werden kann. Es ist auch möglich, nur Teilbereiche der Innenfläche mit Hilfe des Verfahrens zu bearbeiten.

[0012] Da mit Hilfe des Verfahrens gezielt ein ortsabhängig variierender Materialabtrag an der Innenfläche erreicht werden kann, ist das Verfahren besonders dafür geeignet, nicht-kreiszyklrische Sollformen zu erzeugen, deren Formabweichungen von einer ideal kreiszyklrischen Form deutlich außerhalb der üblichen, bei den hier betrachteten Honverfahren geltenden Toleranzen des Zylindrizitätsfehlers liegen, der in vielen Fällen bei weniger als 10 µm liegen sollte. Bei bevorzugten Varianten entsprechen die Formabweichungen einem Zylindrizitätsfehler von deutlich mehr als 10 µm, wobei der Zylindrizitätsfehler vorzugsweise bei mehr als 20 µm, insbesondere zwischen 20 µm und ca. 60 µm liegt.

[0013] Der Zylindrizitätsfehler wird hier durch die Zylinderformtoleranz beschrieben. Die zugehörige Toleranzzone wird durch zwei zur Bohrungsachse und zueinander koaxiale, die Bohrungsinnenwand innen oder außen berührende Zylinder bestimmt, wobei der Radialabstand zwischen den beiden Zylindern ein Maß für die Zylinder Güte darstellt. Für die Zwecke dieser Anmeldung wird der Zylindrizitätsfehler ΔZ definiert als $\Delta Z = (D_A - D_I)/2$, wobei D_A der Durchmesser des die Bohrungsinnenwand außen berührenden Zylinders und D_I der Durchmesser des die Bohrungswand innen berührenden Zylinders ist.

[0014] Es ist jedoch auch möglich, mit Hilfe des Ver-

fahrens Zylindrizitätsfehler von Bohrungen auszugleichen, um auf diese Weise beispielsweise eine der idealen Zylinderform angenäherte Zylinderform mit einem Zylindrizitätsfehler von 10 µm oder weniger zu erzielen.

[0015] Das Verfahren ermöglicht es, den Materialabtrag im wesentlichen über den Schwingungsparameter und den Verschiebungsparameter zu steuern, so dass auf eine Variation der Zustellkraft bzw. des Anpressdruckes der Schneidgruppe verzichtet werden kann. Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante wird die Schneidgruppe mit einer im wesentlichen konstanten Zustellkraft an die Innenfläche angedrückt. In diesem Fall werden Schneidstoffkörper somit mit im wesentlichen konstanter Flächenpressung angepresst, so dass die Eindringtiefe der Schneidkörner und damit die beim Materialabtrag erzeugte Oberflächenrauheit weitgehend konstant sind. Bei derart bearbeiteten Oberflächen ist somit die durch Rauheitsparameter beschreibbare Oberflächentopographie weitgehend unabhängig von der Makroform der Bohrung. Daher kann auch bei signifikanten Formabweichungen von einer kreiszyklrischen Form ein gleichmäßiges Rauheitsprofil an der Bohrung erzeugt werden.

[0016] Bei anderen Verfahrensvarianten ist vorgesehen, zusätzlich zur Schwingungsbewegung und zur Verschiebungsbewegung auch den Zustelldruck variabel zu verändern, um die gewünschte Ortsverteilung des Materialabtrages zu erzielen und/oder um gegebenenfalls lokal unterschiedliche Oberflächenrauheiten zu erzeugen.

[0017] Bei einer Ausführungsform wird die Schwingungsbewegung im wesentlichen konstant gehalten und die Steuerung der Verschiebungsbewegungen wird in Abhängigkeit von der Sollform durchgeführt. Auf diese Weise kann für jeden lokalen Bereich der Innenfläche eine Gesamt-Überlaufzeit (Gesamt-Bearbeitungszeit) eingestellt werden, die im Wesentlichen proportional zu dem für den Bereich vorgesehenen lokalen Materialabtrag ist. So lässt sich durch die Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit lokal in der Bohrung eine unterschiedliche Werkstoffabtrennung erreichen. In Bereichen mit geforderter starker Werkstoffabtrennung kann die Verschiebungsgeschwindigkeit reduziert werden, wobei auch eine zeitweise Unterbrechung der Verschiebungsbewegung (Geschwindigkeit = 0 in Verschiebungsrichtung) möglich ist. Bereiche mit gefordertem geringen Materialabtrag können entsprechend mit hoher Verschiebegeschwindigkeit überfahren werden.

[0018] Um die geforderte Sollform in einem einzigen Arbeitshub des Honwerkzeuges zu erzielen, wird bei bevorzugten Varianten die Verschiebungsbewegung derart gesteuert, dass, bezogen auf die Verschiebungsbewegung, jeder Bereich der Innenfläche nur maximal einmal von einer Schneidgruppe des Honwerkzeuges bearbeitet wird. Die Verschiebungsbewegung kann zum Beispiel durch ein Durchlaufen des Werkzeuges durch eine Bohrung von oben nach unten in Verbindung mit einer Rotation des Werkzeuges erfolgen. Auf diese Weise ist ein besonders schneller Bearbeitungsprozess möglich. Zur

Erzeugung größerer Unterschiede im Abtrag an verschiedenen Stellen der Bohrung ist auch ein mehrfaches Durchlaufen möglich.

[0019] Die Schwingungsbewegung der Schneidgruppe kann dadurch erzeugt werden, dass die Schneidgruppe relativ zum Werkzeugkörper des Honwerkzeuges oszillierend angetrieben wird. Hierzu kann ein in das Honwerkzeug integrierter Schwingantrieb vorgesehen sein. Bevorzugte Varianten des Verfahrens können mit herkömmlichen Honwerkzeugen durchgeführt werden, indem das Honwerkzeug mit Hilfe der für die Werkzeugbewegung erforderlichen Antriebe in die Schwingungsbewegung und Verschiebungsbewegung versetzt wird. Bei einer Ausführungsform wird das Honwerkzeug zur Erzeugung der Schwingungsbewegung in eine in Umfangsrichtung oszillierende Bewegung versetzt, vorzugsweise ohne gleichzeitige axiale Oszillationsbewegung. Die Winkelamplituden der in Umfangsrichtung oszillierenden Schwingungsbewegung liegen typischerweise deutlich unterhalb 180°, insbesondere bei weniger als 90° und/oder weniger als 45°. Sie können beispielsweise bei weniger als 30° oder weniger als 20° liegen. Als untere Grenze für die Winkelamplitude haben sich in vielen Fällen Werte von 1° bis 10° als praktikabel herausgestellt.

[0020] Die Schwingungsbewegung kann auch eine in Axialrichtung gerichtete Komponente haben, die allein oder in Verbindung mit einer in Umfangsrichtung gerichteten Komponente vorgesehen sein kann. Sofern eine in Axialrichtung oszillierende Bewegung vorgesehen ist, liegt deren Amplitude typischerweise im Bereich zwischen ca. 1 % und ca. 10 % der axialen Werkzeuglänge, d.h. der axialen Länge, in der Schneidstoffkörper in materialabtragenden Eingriff mit der Innenfläche stehen.

[0021] Bei manchen Bearbeitungsaufgaben ist es erwünscht, nicht-kreiszyindrische Bohrungsformen mit komplexen Abweichungen von einer exakten Kreiszyindrizität durch Honen zu erzeugen. Dies kann durch beim eingangs erwähnten "Formhonen" von Zylinderlaufflächen bei der Herstellung von Motorblöcken für Brennkraftmaschinen vorgesehen sein, um im unverspannten Werkstück (Zylinderblock) eine Negativform des Zylinderzylinderzylinderfehlers zu erzeugen, der durch die während der Montage und während des Betriebs erzeugten Deformationen entsteht, um im Betrieb eine einsatzoptimale zylinderische Bohrungsgeometrie zu erhalten. Um eine besonders große Flexibilität hinsichtlich der erzielbaren Sollform zu erzielen, ist bei einer bevorzugten Ausführungsform eine im wesentlichen starre Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges zur Erzeugung einer Axialbewegung des Honwerkzeuges im wesentlichen parallel zur Bohrungsachse der Bohrung und eine, gegebenenfalls zeitlich asymmetrische, Steuerung der Schwingungsbewegung und/oder der Verschiebungsbewegung einer einseitig der Werkzeugachse an dem Honwerkzeug angebrachten Schneidgruppe in Abhängigkeit von der Hublage und/oder der Winkelposition des Honwerkzeuges vorgesehen.

[0022] Durch diese Verfahrensführung kann erreicht werden, dass diese Schneidgruppe in ihrem Eingriffswinkelbereich einen Materialabtrag bewirkt, ohne dass dies zwangsläufig zu einem vergleichbaren Materialabtrag an der diametral gegenüberliegenden Seite der Bohrungsinnenfläche führt. Die dem Anpressdruck der Schneidgruppe entgegenwirkende Gegenkraft wird nicht durch Material abtragende Schneidstoffkörper an der diametral gegenüberliegenden Seite aufgebracht, sondern durch die im wesentlichen starre Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges, die ein Ausweichen des Honwerkzeuges quer zur Werkzeugachse bei einseitigem Anpressen der Schneidstoffkörper an die Bohrungsinnenfläche verhindert.

[0023] Auf diese Weise kann das Verfahren insbesondere so durchgeführt werden, dass die Bohrung zumindest in einem axialen Bohrungsabschnitt eine nicht-kreiszyindrische Bohrungsform erhält, die von einer bezogen auf die Bohrungsachse zwei-zählig radial symmetrischen Form signifikant abweicht.

[0024] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens wird das Honwerkzeug zur im Wesentlichen starren Führung der Axialbewegung innerhalb der Bohrung axial gleitbeweglich und quer zur Werkzeugachse im Wesentlichen unbeweglich abgestützt. Dadurch ist es möglich, auf außerhalb des Werkstückes anzuordnende Führungseinrichtungen zu verzichten.

[0025] Bei einer Weiterbildung wird hierzu ein Honwerkzeug verwendet, welches einen Satz von um den Umfang des Honwerkzeuges verteilten Führungsleisten zur axialen Führung des Honwerkzeuges in der Bohrung umfasst, die vorzugsweise unabhängig von der Schneidgruppe in Richtung auf die Innenfläche der Bohrung zu stellbar sind, wobei die im Wesentlichen starre Führung der Axialbewegung dadurch erreicht wird, dass die Führungsleisten während der Bewegung des Honwerkzeuges in der Bohrung an die Innenfläche der Bohrung angedrückt werden.

[0026] Bei dieser Verfahrensvariante zentrieren die Führungsleisten das Honwerkzeug innerhalb der Bohrung. Die Führungsleisten sind vorzugsweise so ausgelegt, dass sie kaum einen oder nur einen geringen Werkstoffabtrag erzeugen, was hier als "im Wesentlichen nicht-schneidende Führungsleisten" bezeichnet wird. Die Führungsleisten können zumindest in den im Kontakt mit der Innenfläche der Bohrung tretenden Bereichen aus einem Kunststoff, aus Gummi, einem Elastomer geeigneter Härte (z.B. Vulkollan®), einem Metall, einem Hartmetall oder aus einer Keramik bestehen oder es kann sich um Honleisten mit einem hohen Schneidstoffanteil handeln.

[0027] Es ist auch möglich, dass die im Wesentlichen starre Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges dadurch erreicht wird, dass das Honwerkzeug außerhalb der Bohrung des Werkstückes axial beweglich und quer zur Werkzeugachse im Wesentlichen unbeweglich geführt wird. Je nach Typ der Bohrung kann hierzu eine einseitige Führung ausschließlich an der Eintrittsseite

der Bohrung, eine einseitige Führung ausschließlich an der der Eintrittseite gegenüberliegenden Austrittsseite der Bohrung (bei Durchgangsbohrungen), oder eine beidseitige Führung sowohl an der Eintrittseite, als auch an der gegenüberliegenden Austrittsseite vorgesehen sein. Eine gegen Querbelastung starre Kopplung des Honwerkzeuges an eine gegen Querbelastung starr geführte Honspindel kann ggf. ebenfalls ausreichen, die starre Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges zu gewährleisten. Dann kann ggf. auf Führungselemente im Bereich des Honwerkzeuges völlig verzichtet werden. Die ausschließlich externe Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges erfordert höchste Genauigkeit bei der relativen Positionierung zwischen Werkstück und Honwerkzeug.

[0028] Um eine möglichst flexible Steuerung der Form des Bohrungsquerschnittes im bearbeitenden Bereich zu erhalten, ist bei einer Variante vorgesehen, dass ein Honwerkzeug verwendet wird, das eine einzige separat zustellbare Schneidgruppe hat, die vorzugsweise einen Eingriffswinkel von weniger als 90° besitzt. Der Begriff "Eingriffswinkel" beschreibt hier den Winkelbereich entlang des Umfanges des Honwerkzeuges, in dem Schneidstoffkörper der Schneidgruppe in Eingriff mit der Bohrungswandung stehen. Häufig ist es günstig, wenn der Eingriffswinkel zwischen ca. 1° und ca. 70° liegt, er kann beispielsweise zwischen 5° und 60° liegen und/oder zwischen 20° und 45° . Je kleiner der Eingriffswinkel ist, desto exakter ist eine komplexe Form der Kontur der Innenfläche durch Steuerung der Zustellkraft in Abhängigkeit von der Winkelposition des Honwerkzeuges zu erreichen. Es können auch Honwerkzeuge mit mehreren unabhängig voneinander zustellbaren Schneidgruppen verwendet werden.

[0029] Die Schneidstoffkörper können auch symmetrisch oder fast symmetrisch über den Umfang des Honwerkzeuges verteilt angeordnet sein. In diesem Falle können Sollformen mit zweizähliger oder mehrzähliger Radialsymmetrie erzeugt werden, da eine Schwingungsbewegung und Verschiebungsbewegung des Honwerkzeuges sich gleichermaßen auf alle Schneidstoffkörper auswirken kann. Auf die im wesentlichen starre Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges kann in diesen Fällen verzichtet werden.

[0030] Die Erfindung betrifft auch eine Honmaschine, die eine Bewegungs-Steuerungseinrichtung zur Steuerung der Bewegung mindestens einer an einem Honwerkzeug angebrachten Schneidgruppe in Abhängigkeit von der Hublage und/oder der Winkelposition des Honwerkzeuges in einer Bohrung hat, wobei die Bewegungs-Steuerungseinrichtung zur Erzeugung einer Schwingungsbewegung der Schneidgruppe im wesentlichen parallel zu einer Innenfläche der Bohrung nach Maßgabe mindestens eines Schwingungsparameters und zur Erzeugung einer der Schwingungsbewegung überlagerten Verschiebungsbewegung der Schneidgruppe entlang der Innenfläche der Bohrung nach Maßgabe mindestens eines Verschiebungsparameters konfiguriert ist.

[0031] Beispielsweise kann die Bewegungs-Steuerungseinrichtung einer konventionellen Honmaschine so modifiziert sein, dass der bekannten langhubigen Hubbewegung und der Umfangsbewegung des Honwerkzeuges eine Oszillation in Hub- und/oder Umfangsrichtung mit deutlich kürzerem Hub überlagert werden kann. Bei einer Ausführungsform sind zur Einstellung einer lokal unterschiedlichen Werkstoffabtrennung sowohl die Hub- und/oder Umfangsgeschwindigkeit der langhubigen Bewegungen, als auch die Hub- und/oder Umfangsgeschwindigkeit der im Vergleich dazu kurzhubigeren Schwingungsbewegung jeweils in Abhängigkeit von der Hub- und Winkellage des Honwerkzeuges separat einstellbar. Unterstützend kann auch eine Einstellmöglichkeit vorgesehen sein, um die Anpresskraft der Schneidstoffkörper in Abhängigkeit von der Hub- und Winkellage zu verändern.

[0032] Erfolgt die Erzeugung der Makroform der Bohrung im Wesentlichen ohne eine Variation der Anpresskraft der Schneidgruppe, so ist die erzeugte Bohrungsinnenfläche durch eine sehr geringe Schwankung der Rauheit gekennzeichnet. Dies vermindert den bei den nachfolgenden, oberflächenbildenden Bearbeitungsoperationen erforderlichen Materialabtrag, so dass diese Prozesse in kürzeren Bearbeitungszeiten durchgeführt werden können. Es ist z.B. möglich, ein Werkstück mit mindestens einer Bohrung zu erzeugen, die eine gehobte Innenfläche aufweist, wobei die Bohrung in mindestens einem axialen Bohrungsabschnitt eine nicht-kreiszyklische Bohrungsform hat, so dass die Bohrung einen Zylindrizitätsfehler von mehr als $20\text{ }\mu\text{m}$ aufweist, wobei eine Schwankungsbreite für den arithmetischen Mittenrauwert R_a über den Umfang der Bohrung weniger als 30 % beträgt. Nach der hier beschriebenen formgebenden Bearbeitung sind in der Regel die Bearbeitungsspuren der durch die Schwingungsbewegung der Schneidgruppe erzeugten kurzhubigen Bearbeitung an der Innenfläche erkennbar. In der Regel ist es jedoch so, dass diese Bearbeitungsspuren in nachfolgenden, im Wesentlichen nur die Oberflächentopographie verändernden Bearbeitungsoperationen wieder entfernt werden.

[0033] Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor. Dabei können die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungsformen darstellen. Bevorzugte Ausführungsformen werden an Hand der beigefügten Zeichnungen erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Gesamtansicht einer Honmaschine, die zur Durchführung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Honverfahrens konfiguriert ist;

Fig. 2 zeigt eine schematische Perspektivansicht ei-

nes 4-Zylinder-Motorblockes bei der Bearbeitung mit einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Honverfahrens;

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung von Geschwindigkeitskomponenten der Schwingungsbewegung und der Verschiebungsbewegung einer Schneidgruppe bei der Bearbeitung einer Bohrungsinnenfläche; und

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung des Einflusses der Verschiebungsgeschwindigkeit v_3 auf die Abtragsrate A einer konstant schwingend angetriebenen Schneidgruppe, jeweils in Abhängigkeit von der Zeit t ;

Fig. 5 zeigt schematische Messdiagramme einer Zylinderbohrung mit großem Zylindrizitätsfehler und signifikanter Abweichung von einer 2-zähligen Radialsymmetrie;

Fig. 6 zeigt schematische Diagramme zur Erläuterung des Zusammenhanges zwischen der Geometrie einer Bohrung mit großem Zylindrizitätsfehler und der zur Erzeugung der unrunder Bohrungsform erforderlichen Variation der Verschiebungsgeschwindigkeit über die Winkelposition einer einseitig an einem Honwerkzeug angebrachten, oszillierenden Schneidgruppe; und

Fig. 7 bis 9 zeigen schematisch unterschiedliche Honwerkzeuge, die bei Ausführungsformen erfindungsgemäßer Verfahren eingesetzt werden können.

[0034] 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 eingesetzt werden kann, um eine oder mehrere Honoperationen an dem Werkstück auszuführen. 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 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 Honprozesse erzeugt wird.

[0035] Bei der zwispindligen 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 Spindel kasten 114, der die Honspindel 120 führt. Die Honspindel lässt sich mit Hilfe eines am Spindelkasten befestigten Spindelmotors 118 um ihre Längsachse drehen. Das untere Ende der Honspindel wird durch eine Gelenkstange gebildet, an deren unteres, freies Ende das als Bearbeitungswerkzeug dienende Honwerkzeug 150 begrenzt beweglich mechanisch angekoppelt ist. 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 vertikale Hin- und Herbewegung ausführt. Der Spindelmotor 118 und der Hubantrieb 124 werden über eine Bewegungs-Steuerungseinrichtung 180 angesteuert, die ein Teilsystem der Gesamt-Steuerung der Honmaschine bildet.

[0036] Bei dieser Ausführungsform steuert die Bewegungs-Steuerungseinrichtung 180 alle Honachsen der Honmaschine. Dieses Steuersystem wird genutzt, um die im Vergleich zu herkömmlichen Honsystemen hinzugekommene Schwingungsbewegung der Schneidgruppe zu erzeugen und der Verschiebungsbewegung zu überlagern. Hierzu kann ein geeignetes Arbeitsprogramm der computernumerischen Steuerung vorgesehen sein. Zur Einstellung einer lokal unterschiedlichen Werkstoffabtrennung sind in der Steuerung folgende Parameter in Abhängigkeit von Hub- und Winkellage des Honwerkzeuges einstellbar: (1) Hub- und/oder Umfangsgeschwindigkeit der langhubigen Verschiebungsbewegungen; (2) Hub- und/oder Umfangsgeschwindigkeit der kurzhubigen Schwingungsbewegungen. Es existiert auch eine Einstellmöglichkeit, mit der die Anpresskraft der Schneidgruppe in Abhängigkeit von Hub- und Winkellage veränderbar ist.

[0037] Die Honmaschine ist mit einem Zustellsystem 140 ausgestattet, das zwei unabhängig voneinander betätigbare Zustelleinrichtungen umfasst, die unterschiedlichen Sätzen von Elementen am Honwerkzeug zugeordnet sind.

[0038] Fig. 2 zeigt in schematischer, schrägperspektivischer Ansicht einen Zylinderblock (Motorblock) 200 für eine 4-Zylinder-Brennkraftmaschine. In dem aus einem Gusswerkstoff oder aus einem Leichtmetall-Werkstoff bestehenden Zylinderblock sind vier achsparallele Zylinderbohrungen 201, 202, 203, 204 in gleichen Abständen in Reihe so nebeneinander angeordnet, dass ihre zentralen Bohrungsachsen in einer gemeinsamen Ebene (Zylinderebene 212) liegen. Von der Oberseite des Zylinderblockes her sind mit Innengewinde versehene Bohrungen 215 achsparallel zu den Zylinderbohrungen so eingebracht, dass jeweils vier dieser Bohrungen gleichmäßig um den Umfang einer Zylinderbohrung verteilt sind. Die Bohrungen 215 dienen zur Aufnahme von Zy-

linderkopfschrauben, mit deren Hilfe nach Fertigstellung der Bearbeitung des Zylinderblockes der zugehörige Zylinderkopf auf den Zylinderblock 200 unter Zwischenlage einer Zylinderkopfdichtung aufgeschraubt wird.

[0039] Es ist erkennbar, dass es sich bei dem Zylinderblock 200 um ein strukturell uneinheitliches Werkstück handelt, bei dem insbesondere jede der Zylinderbohrungen 201-204 eine unterschiedliche Werkstückumgebung hat, insbesondere hinsichtlich der Wandstärke im Bereich der Zylinderbohrungen und auch durch unterschiedliche Anbindungen an die Kühlmittelkanäle des motorblockinternen Kühlsystems. Beispielsweise haben die innen liegenden Zylinderbohrungen 202 und 203 des zweiten und dritten Zylinders jeweils zwei in der Zylinderebene liegenden Nachbar-Zylinderbohrungen, während die außenliegenden Zylinderbohrungen (Zylinder 1 und 4) nur eine jeweils innenliegende Nachbar-Zylinderbohrung haben und an der gegenüberliegenden Seite an dickere Wandabschnitte des Werkstückes grenzen.

[0040] Am unteren Ende der Honspindel 220 ist eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Honwerkzeuges 250 angekoppelt, bei dem es sich um ein kardatisch gelagertes Honwerkzeug mit Doppelaufweitung handelt. Das Honwerkzeug hat einen Werkzeugkörper 255, der an einer Seite seines Umfanges eine durch eine einzige Honleiste gebildete Schneidgruppe 260 trägt, die mit Hilfe eines nicht näher dargestellten Schneidgruppen-Zustellsystems in radialer Richtung zur Bohrungsinnenwand zugestellt bzw. zurückgezogen werden kann. Die Schneidgruppe 260 ist einseitig an dem Honwerkzeug angebracht. Dies bedeutet insbesondere, dass alle bei der Honbearbeitung in materialabtragendem Eingriff mit der Bohrungsinnenwand stehenden Schneidstoffkörper auf der gleichen Seite einer werkzeug halbierenden Werkzeugebene liegen, die die Werkzeugachse enthält und senkrecht auf der Winkelhalbierenden der Schneidgruppe steht. Weiterhin ist am Werkzeugkörper ein Satz von um den Umfang des Honwerkzeuges ungleichmäßig verteilten Führungsleisten 270 vorgesehen, die mit Hilfe eines Führungsleisten-Zustellsystems unabhängig von der Schneidgruppe 260 in Richtung auf die Innenfläche der Bohrung zugestellt werden können. Bei Anliegen der im Wesentlichen nicht-schneidenden Führungsleisten an der Innenfläche der Bohrung ergibt sich eine im Wesentlichen starre Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges innerhalb der Bohrung parallel zur Bohrungssache 213, so dass die Führungsleisten eine Axialführungseinrichtung für das Honwerkzeug bilden.

[0041] Die Zustellbewegung sowohl der Führungsleisten als auch der Schneidgruppe sowie die jeweils aufgebraachte Zustellkraft werden mit Hilfe einer Zustellkraft-Steuerungseinrichtung 290 der Honmaschine unabhängig voneinander gesteuert. Die Bewegungen des Honwerkzeuges innerhalb der Bohrung werden durch die Bewegungs-Steuerungseinrichtung 280 gesteuert.

[0042] Anhand der Fig. 3 und 4 wird nun erläutert, wie bei einer bevorzugten Ausführungsform des Bearbei-

tungsverfahrens durch geeignete Steuerung der Schwingungsbewegung und der Verschiebungsbewegung einer Schneidgruppe des Honwerkzeuges an unterschiedlichen Stellen der Innenfläche einer Bohrung lokal unterschiedlich starke Materialabträge erzielbar sind, um eine nicht-kreiszyindrische Bohrungsform zu erzeugen. Fig. 3 zeigt hierzu schematisch einen axialen Schnitt durch eine Zylinderbohrung 303 eines Motorblockes 300. In die Zylinderbohrung ist ein Honwerkzeug eingeführt, von dem nur eine Honleiste 360 gezeigt ist, die die einzige Schneidgruppe des Honwerkzeuges bildet und die in spanabhebenden Eingriff mit der Innenfläche 330 der Bohrung steht.

[0043] In der Bewegungs-Steuerungseinrichtung der Honmaschine ist ein Arbeitsprogramm aktiv, das eine Schwingungsbewegung und eine der Schwingungsbewegung überlagerte Verschiebungsbewegung des Honwerkzeuges und der daran angebrachten Schneidgruppe steuert. Die Schwingungsbewegung setzt sich aus einer in Umfangsrichtung gerichteten Komponente (Richtung des Vektors V_2) und einer in Axialrichtung gerichteten Komponente (Richtung des Vektors V_1) zusammen, wobei an der Bewegungs-Steuerungseinrichtung sowohl die Schwingungsamplitude, als auch die Schwingungsfrequenz als Schwingungsparameter einstellbar sind. In der beispielhaften Variante ist die Schwingungsamplitude in Axialrichtung (Vektor V_1) auf den Wert 0 gesetzt, so dass ausschließlich eine Schwingungsbewegung in Umfangsrichtung (Vektor V_2) vorliegt, bei der die Schneidgruppe 360 in Umfangsrichtung oszillierend mit einer Winkelamplitude von ca. 4° und einer Frequenz von ca. 2 Hz hin- und herbewegt wird. Diese oszillierende Bearbeitungsbewegung erzeugt in Verbindung mit dem durch die Zustellkraft-Steuerungseinrichtung konstant vorgegebenen Anpressdruck am Ort der Schneidgruppe einen Materialabtrag, dessen Betrag im wesentlichen proportional zu der am jeweiligen Ort vorliegenden Bearbeitungszeit (bzw. i.W. umgekehrt proportional zur lokalen Verschiebungsgeschwindigkeit) ist.

[0044] Der Schwingungsbewegung ist eine Verschiebungsbewegung der Schneidgruppe in Richtung des Verschiebungsvektors V_3 überlagert, wobei sowohl die Richtung, als auch die Geschwindigkeit dieser Verschiebungsbewegung (Geschwindigkeit v_3) an der Bewegungs-Steuerungseinrichtung als Verschiebungsparameter vorgebar sind. Die Richtung der Verschiebungsbewegung ist veränderlich und sichert ab, dass die Schneidgruppe alle Bereiche der Bohrungsinnenfläche erreicht. Bei der gezeigten Ausführungsform ist die Verschiebungsbewegung so parametrisiert, dass die Honleiste 360 eine an das klassische Honen angelegte Drehbewegung (in Umfangsrichtung) in Verbindung mit einer alternierenden Hubbewegung in Axialrichtung erzeugt (siehe gestrichelter Pfeil). Entlang des Verschiebungsweges, d.h. bei Überstreichen der Innenfläche der Bohrung, wird die Geschwindigkeit v_3 der Verschiebungsbewegung variiert. Die Steuerung der Verschiebungsgeschwindigkeit v_3 erfolgt in Abhängigkeit von der gefor-

der Sollform der Bohrung. Durch die Veränderung der Verschiebungsgeschwindigkeit ergeben sich lokal unterschiedliche Bearbeitungsdauern, so dass lokal in der Bohrung unterschiedlich starke Werkstoffabtrennungen erreicht werden. Dies ist in Fig. 4 schematisch dargestellt. Bei konstanter Schwingungsbewegung (d.h. konstanter Schwingungsamplitude, -frequenz und -richtung) ergibt sich eine annähernde Proportionalität zwischen Materialabtrag A und Verschiebungsgeschwindigkeit v_3 , da in Bereichen höherer Verschiebungsgeschwindigkeit die lokale Bearbeitungsdauer und damit der lokal erzielte Materialabtrag geringer ist als in Bereichen niedrigerer Verschiebungsgeschwindigkeit. Dementsprechend wird die Steuerung so programmiert, dass in Bereichen mit geforderter starker Werkstoffabtrennung die Verschiebungsgeschwindigkeit v_3 gering oder für ein festgelegtes Zeitintervall auch null ist, während für Bereiche mit geforderter geringerer Werkstoffabtrennung eine höhere Verschiebungsgeschwindigkeit vorgesehen ist.

[0045] Da bei dieser Verfahrensvariante nur die Zeit bzw. die Verschiebungsgeschwindigkeit als Steuerparameter verwendet wird, während die Anpresskraft der Schneidgruppe während der gesamten Bearbeitungsdauer konstant bleibt, ist die erzeugte Rauheit der bearbeiteten Innenfläche unabhängig von der erzeugten Form. Typische gemittelte Rauhtiefen R_z liegen über die gesamte bearbeitete Innenfläche im Bereich $R_z = 4 \mu\text{m}$ bis $6 \mu\text{m}$.

[0046] Die Komponenten der Schwingungsbewegung in Umfangsrichtung und in Axialrichtung können konstante oder veränderliche Amplituden und/oder Frequenzen haben. Die Veränderung der Amplitude und/oder Frequenz können zur Unterstützung der Steuerung des Abtrags genutzt werden. Beispielsweise kann für lokale Bereiche mit gefordertem hohen Materialabtrag die Schwingungsfrequenz erhöht werden, um bei gleicher Verweildauer der Schneidgruppe an der Bohrungsinnenfläche eine erhöhte Abtragsleistung zu erzielen.

[0047] Es ist auch möglich, dass die Flächenpressung als Variable gesteuert wird, d.h., dass der Anpressdruck der Schneidgruppe in Abhängigkeit von der Hubposition und/oder der Winkelposition des Honwerkzeuges bzw. der Schneidgruppe variiert wird. In jedem Fall ist die Steuerkurve der für den Materialabtrag verantwortlichen Parameter abhängig von der Sollform der Bohrung.

[0048] Ein typische, mit Hilfe des Verfahrens an einem unverspannten Werkstück erzeugbare Bohrungsgeometrie, die bei der Bearbeitung von Zylinderlaufflächen eines Zylinderblockes erzeugt werden kann, wird anhand von Figur 5 erläutert.

[0049] Zur Charakterisierung der Makroform einer Zylinderlauffläche zeigt Fig. 5 (a) einen schematischen Umfangsschrieb und Fig. 5 (b) einen schematischen Längsschrieb der Dimensionen einer Zylinderlauffläche. Für den Umfangsschrieb werden radiale Abstände der Bohrungsinnenwand von der Bohrungsschule BA in Abhängigkeit von der Umfangsposition entlang der Bohrungsinnenfläche gezeigt, wobei der Nullpunkt der Umfangs-

richtung sowie die 180° -Lage in der durch die Bohrungsschule der Zylinder definierten Zylinderebene 212 (vgl. Fig. 2) liegen und die 90° - und 270° -Positionen die senkrecht dazu liegenden Bereiche in der Nähe der vorderen und hinteren Breitseite des Zylinderkopfes repräsentieren. Die Kurven R_O , R_M und R_U repräsentieren jeweils den Radius in der Nähe der oberen Eintrittsöffnung der Zylinderbohrung (R_O), im axialen Mittelbereich der Zylinderbohrung (R_M) und in der Nähe des unteren Endes der Zylinderbohrung (R_U). In der dem Fachmann bekannten Weise sind die umlaufenden Messkurven des Umfangsschriebes jeweils auf eine konzentrisch zur Bohrungsschule liegende Nulllinie bezogen, die bei der Darstellung in Fig. 6 (a) jeweils gestrichelt gezeichnet ist. Für alle Messkurven dient der gleiche radiale Maßstab in Radialrichtung. Die Längsschriebe in Fig. 5 (b) zeigen jeweils den Verlauf der Mantellinien (parallel zur Bohrungsschule) in den ausgewählten Umfangsbereichen bei 0° , 90° , 180° und 270° .

[0050] Die Messergebnisse repräsentieren die randständige vierte Zylinderbohrung 204 in Fig. 1. Es ist erkennbar, dass die Bohrung in der Nähe der zylinderkopfseitigen Eintrittsseite (repräsentiert durch die Kurve R_O) eine annähernd 2-zählige Radialsymmetrie um die Bohrungsschule BA hat, bei der sich der größte Durchmesser schräg zur Zylinderebene im Bereich der Umfangswinkel 135° bzw. 315° ergibt, während sich senkrecht dazu (entsprechend Winkelpositionen 45° und 225°) ebenfalls lokale Maxima des Radius ausbilden, die jedoch bei kleineren absoluten Radiuswerten liegen. Der annähernd 2-zählige symmetrischen Grundform sind kleinere Radiuschwankungen überlagert, beispielsweise im Bereich um 180° .

[0051] Im axialen Mittelbereich der Bohrung (Kurve R_M) ergibt sich ein weitaus komplexerer Zusammenhang zwischen Umfangsposition und Bohrungsradius bzw. Bohrungsdurchmesser. Im gezeigten Beispiel ergeben sich in Umfangsrichtung etwa acht lokale Maxima des Innenradius, die durch lokale Minima des Innenradius getrennt sind. Tendenziell liegen die größten Radien weiterhin schräg zur Zylinderebene.

[0052] In dem der Zylinderkopfseite abgewandten Endbereich der Zylinderbohrung, repräsentiert durch die Kurve R_U , ist der Bohrungsquerschnitt ebenfalls unsymmetrisch, wobei jedoch die am zylinderkopfseitigen Ende noch angedeutete 2-zählige Radialsymmetrie nicht mehr dominiert und eine nahezu völlig irreguläre Bohrungsquerschnittsform vorherrscht.

[0053] In Axialrichtung der Bohrungsinnenwand ergeben sich ebenfalls erheblich Schwankungen des Bohrungsradius. Während entlang der Mantellinie bei 0° der Radius zum unteren Ende der Bohrung abnimmt, ist die Bohrungswand auf der gegenüberliegenden Seite (bei 180°) erheblich in Axialrichtung verzogen, so dass sich ein starkes Radiusminimum in der Nähe der Eingangsöffnung ergibt sowie im unteren Drittel, während im Mittelbereich der Radius maximal wird. Legt man dagegen einen Schnitt senkrecht zur Zylinderebene (bei 90° und

270°) so ergeben sich minimale Radien in der Nähe der oberen Eintrittsöffnung, während im unteren Drittel der Bohrungsradius ein lokales Maximum einnimmt.

[0054] Die auf diese Weise charakterisierbare, unsymmetrisch verzogene Bohrungsform entspricht im Beispielsfall einem Zylindrizitätsfehler ΔZ zwischen $30\mu\text{m}$ und $40\mu\text{m}$. Diese komplex und unsymmetrisch verformte Bohrungsgeometrie wird sich bei Aufsetzen und Verschrauben eines Zylinderkopfes sowie Erwärmung des dadurch entstandenen Rumpfmotors in den Bereich der Betriebstemperaturen wieder zu einer weitgehend zylindrischen Bohrungsform verformen. Sie bildet somit annähernd eine Negativform der Deformationen im Betriebszustand.

[0055] Fig. 6 zeigt exemplarisch für zwei Axialpositionen des Zylinders (repräsentiert durch die Kurven R_O und R_M) in Fig. 6 (a) den hub- und drehwinkelabhängigen Radienverlauf der Bohrung und in Fig. 6 (b) den zugehörigen Verlauf des Kehrwertes $1/V$ der Verschiebungsgeschwindigkeit V einer in Umfangsrichtung kurzhubig oszillierenden Schneidgruppe über den Drehwinkel φ , jeweils in den entsprechenden axialen Höhen. Die Schneidgruppe wird mit konstantem Anpressdruck ($F = \text{const}$) an die Innenfläche angepresst. Große Werte des Kehrwertes entsprechen einer langsamen Verschiebung und damit einem größeren Materialabtrag. In Fig. 6 (b) repräsentiert die gestrichelte Kurve V_O diejenige Variation des Kehrwertes der Verschiebungsgeschwindigkeit über den Drehwinkel, die erforderlich wäre, wenn ein Honwerkzeug, dessen oszillierende Schneidgruppe im oberen Endbereich der Zylinderbohrung in Umfangsrichtung verschoben wird, die Innenfläche bearbeitet. Die durchgezogene Linie V_M entspricht der zeitlichen Variation bzw. Winkelvariation, die im Mittelbereich der Bohrung (R_M) erforderlich wäre. Während die annähernd, aber nicht exakt 2-zählig radialsymmetrische Bohrungsquerschnittsform am oberen Ende im Wesentlichen durch eine Variation der Verschiebungsgeschwindigkeit mit zwei lokalen Minima und dazwischenliegenden lokalen Maxima (sowie einer kurzzeitigen Verlangsamung bei 180°) erreicht werden kann, erfordert das Formhonen im Mittelbereich der Bohrung (Kurve R_M) bei einer einzigen Umdrehung des Honwerkzeuges einen vielfachen, schnellen Wechsel zwischen Anstieg und Zurücknahme der Verschiebungsgeschwindigkeit, der zu einer Ausbildung von sechs bis acht lokalen Abtragsmaxima und lokalen Abtragsminima bei einer vollen Umdrehung führt. Wird bei der Honbearbeitung das Honwerkzeug axial mit langen Hüben bewegt und gleichzeitig um seine Werkzeugachse rotiert, so ergibt sich der tatsächliche zeitliche Verlauf der an einer Schneidgruppe wirksame Verschiebungsgeschwindigkeit (bzw. Abtragsleistungen) aus einer Überlagerung der hier zur Vereinfachung erläuterten Verläufe, wobei sich auch die starke Variation in Axialrichtung (Fig. 5(b)) in einen Beitrag zur Variation der Verschiebungsgeschwindigkeit umsetzt.

[0056] Nach der Durchführung des Formhonsens kann die Zylinderbohrung mit Hilfe eines Formmesssystems

gemessen werden. Eine eventuell noch vorhandene, gemessene Differenz der Ist-Form zur Soll-Form kann zur Korrektur der Bearbeitungsparameter in Abhängigkeit von Hublage und Drehwinkel genutzt werden. Insbesondere kann somit während und/oder nach einer formerzeugenden Honoperation eine Vermessung der Bohrungsform zur Ermittlung von Form-Istwerten durchgeführt werden und eine Differenz zwischen den Form-Istwerten und der Sollform kann zur Korrektur der Steuerung der materialabtragenden Bearbeitung verarbeitet werden. Durch diesen Regelkreis ist eine verbesserte Genauigkeit des Formhonzustandes erzielbar.

[0057] Es sind zahlreiche Varianten des Bearbeitungsverfahrens möglich, wobei unterschiedliche Typen von Honwerkzeugen und/oder unterschiedlich aufgebaute und/oder gesteuerte Honmaschinen genutzt werden können. Bei einer Variante der in Fig. 1 dargestellten Honmaschine werden zusätzliche Baugruppen in die Konstruktion eingefügt, um die Verschiebungsbewegung überlagerte Schwingungsbewegung von Schneidgruppen zu erzeugen. Beispielsweise kann innerhalb der Spindel 120 ein Schwingungserzeuger eingebaut werden, der den das Honwerkzeug 150 tragenden Teil der Spindel von einem antriebsseitigen Teil der Spindel abkoppelt und eine Relativbewegung des Honwerkzeugtragenden Abschnittes gegenüber dem antriebsseitigen Abschnitt in Axialrichtung und/oder in Umfangsrichtung ermöglicht, um die Schwingungsbewegung der Schneidgruppe zu realisieren. Es ist auch möglich, innerhalb des Honwerkzeuges einen Schwingungserzeuger anzubringen, der die Schneidstoffkörper der Schneidgruppe relativ zum Werkzeugkörper oszillierend antreibt. In beiden Fällen muss zur Erzeugung der Schwingungsbewegung weniger Masse bewegt werden als in der oben beschriebenen Ausführungsform, so dass bei gleicher eingeleiteter Kraft größere Schwingungsfrequenzen möglich sind.

[0058] Außerdem ist es möglich, an Stelle des in Fig. 2 gezeigten Honwerkzeuges 250 andere Typen von Honwerkzeugen zu verwenden. Figur 7 zeigt hierzu beispielhaft ein Honwerkzeug 700 mit vier symmetrisch um den Umfang verteilten, gleichartigen Honleisten 760, die über ein einziges, gemeinsames Zustellsystem 770 gemeinsam betätigt werden. Es sind keine expandierbaren oder nicht-expandierbaren Führungsleisten vorhanden. Solche einfach aufgebauten Honwerkzeuge sind besonders dann verwendbar, wenn im Wesentlichen rotationssymmetrische Bohrungsformen ggf. mit in Axialrichtung stark variierenden Durchmesser, und/oder Bohrungsformen mit 4-zähliger Radialsymmetrie erzeugt werden sollen.

[0059] Das Honwerkzeug 800 in Fig. 8 ist ein System mit Doppelaufweitung, d.h. mit zwei unabhängig voneinander betätigbaren Zustellsystemen. Dabei werden vier gleichmäßig um den Umfang verteilten erste Honleisten 860 über ein erstes Zustellsystem 870 gemeinsam verstellt. Eine in Umfangsrichtung symmetrisch zwischen zwei der Honleisten 860 angeordneten Honleiste 810 wird über ein gesondertes zweites Zustellsystem 820 be-

tätigt. Mit Hilfe der vier gleichartigen Schneidstoffkörper 860 kann bei geeigneter Ansteuerung der Bewegungsgeschwindigkeit des Honwerkzeuges beispielsweise eine dominierende 4-zählige Rotationssymmetrie der Bohrungsform erzeugt werden. Durch Ansteuerung des zweiten Aufweitsystems wird gleichzeitig die einzelne Honleiste 810 zugestellt, die dann noch einen gezielten lokalen Materialabtrag erzeugt, um beispielsweise eine Bohrungsform mit einer von einer 2-zähligen Radialsymmetrie abweichenden Geometrie zu erzeugen (vgl. z.B. Fig. 5). Beide Zustellsysteme sind unabhängig voneinander als Funktion von Hublage und Winkelposition des Honwerkzeuges ansteuerbar.

[0060] Bei einer anderen Ausführungsform ist an der der Honleiste 810 gegenüberliegenden Seite eine weitere Honleiste vorgesehen, die von dem zweiten Zustellsystem 820 betätigbar ist. Durch gemeinsame Zustellung der diametral gegenüberliegenden zweiten Honleisten als Funktion von Hublage und Winkelposition des Honwerkzeuges kann beispielsweise eine Ovalität erzeugt werden, die einer vierzählig symmetrischen Form überlagert sein kann.

[0061] Figur 9 zeigt schematisch ein Honwerkzeug 900, das als Mehrleistenhonwerkzeug ausgelegt ist. Auf einer Seite des Honwerkzeuges ist eine einzelne materialabtragende Honleiste 960 angeordnet. An der zur Werkzeugachse diametral gegenüberliegenden Seite sind zwei ebenfalls zustellbare, jedoch nicht-schneidende Führungsleisten 970 angeordnet, die bezüglich ihres Aufbaus im Wesentlichen den Führungsleisten 270 in Fig. 2 entsprechen können. Die einzelne Honleiste 960 und die nicht-schneidenden Führungsleisten 970 werden über eine gemeinsame Zustelleinrichtung 980 zugestellt. Bei der Bearbeitung nehmen die Führungsleisten 970 die Gegenkraft der von der Honleiste 960 erzeugten Bearbeitungskraft auf. Es ist auch möglich, ein Honwerkzeug mit einer einseitig wirkenden Honleiste zu verwenden, die ebenfalls von Führungsleisten abgestützt wird, die sich auf der gegenüberliegenden Seite befinden (ähnlich Fig. 9), die aber nicht ausgefahren (zugestellt) werden.

[0062] Eine nicht gezeigte Variante eines Honwerkzeuges mit Doppelaufweitung hat eine erste Schneidgruppe, die in einem ersten axialen Abschnitt des Honwerkzeuges wirksam ist, sowie mindestens eine zweite, gesondert zustellbare Schneidgruppe, die sich in Axialrichtung versetzt zur ersten Schneidgruppe befindet, beispielsweise oberhalb der ersten Schneidgruppe oder unterhalb der Schneidgruppe (in Axialrichtung gesehen). Es ist möglich, ein solches Honwerkzeug so anzusteuern, dass die unterschiedlichen, axial versetzten Schneidbereiche mit unterschiedlichen Aufweitkräften beaufschlagt werden, um dadurch in verschiedenen axialen Höhen der Bohrung unterschiedliche Abträge zu erreichen.

[0063] Eine weitere, nicht gezeigte Variante eines Honwerkzeuges mit Doppelaufweitung hat eine erste Schneidgruppe, die in einem ersten Umfangswinkelbe-

reich des Honwerkzeuges wirksam ist, sowie mindestens eine zweite, gesondert zustellbare Schneidgruppe, die in einem in Umfangsrichtung versetzt zum ersten Umfangswinkelbereich liegenden zweiten Umfangswinkelbereich des Honwerkzeuges wirksam ist. Die Schneidleisten, die von diesen zwei Aufweitungen (bzw. Zustellsystemen) gesteuert werden, befinden sich somit an verschiedenen Winkelpositionen. Die Zustellkraft wird für beide Aufweitungen getrennt in Abhängigkeit von Winkelposition und Hublage gesteuert.

[0064] In der Regel werden die materialabtragenden Bearbeitungsschritte zur Erzeugung der ggf. komplexen, unrunder und ggf. unsymmetrischen Bohrungsformen mit Hilfe eines Honwerkzeuges (oder mit Hilfe mehrerer nacheinander verwendeter Honwerkzeuge) erzeugt, wobei die Schneidgruppe dieser Honwerkzeuge für einen substantiellen Materialabtrag ausgelegt sind, um die Makroform der Bohrung in der gewünschten Weise zu erzeugen. Dies führt dazu, dass die Mikrostruktur der bearbeiteten Bohrungsinnenfläche möglicherweise nicht den für den Betrieb vorgegebenen Vorgaben hinsichtlich Oberflächenrauheit und/oder Oberflächenstruktur genügt. Daher wird bei bevorzugten Verfahren nach den formgebenden Bearbeitungsschritten mindestens eine im Wesentlichen formneutrale, d.h. die Makroform der Bohrung im Wesentlichen nicht verändernde Bearbeitungsoperation durchgeführt. Dabei können Honwerkzeuge mit entsprechend an die Oberflächenanforderung angepasster Körnung der Schneidstoffkörper und/oder Bürst- oder Plateauhonwerkzeuge und/oder andere die Oberflächenstruktur verändernde Bearbeitungswerkzeuge eingesetzt werden, beispielsweise berührungslos arbeitende Werkzeuge, wie Laser und/oder Wasserstrahlerzeuger, die die Oberflächenstruktur der Bohrungsinnenfläche ohne Beeinflussung der Makroform verändern können.

[0065] Beispielsweise kann eine "Plateauhonbearbeitung" durchgeführt werden, um die nach der formgebenden Honbearbeitung noch vorliegenden Spitzen des Rauheitsprofils zu schneiden und dadurch den Traganteil der Oberfläche zu erhöhen. Bei der im Wesentlichen formneutralen Bearbeitungsoperation kann die Innenfläche der Bohrung z.B. mit einer Vielzahl von relativ zueinander beweglichen, elastisch gelagerten Schneidstoffkörpern bearbeitet werden, die in Axialrichtung des Honwerkzeuges eine maximale Ausdehnung von weniger als 10 % der Länge des Schneidbereiches des Honwerkzeuges haben. Ein solches stark segmentiertes Plateauhonwerkzeug ist in der Lage, die gewellte Oberfläche einer gezielt unrunder bearbeiteten Bohrung mit einem Zylindrizitätsfehler von deutlich über 10 µm weitgehend gleichmäßig zu bearbeiten. Es kann durch Honleistensegmente gebildete Schneidstoffkörper haben, die auf einem in sich elastischen Grundkörper, beispielsweise einer Platte aus einem gummiartigen Werkstoff, aufgebracht sind. Dieser in sich elastische Grundkörper ist auf dem eigentlichen Grundmaterial der Honleiste, beispielsweise einem Träger aus Stahl, Kupfer

oder dergleichen durch Verkleben oder auf andere Weise aufgebracht. Die Honleistensegmente können z.B. eine Ausdehnung von 10mm x 10mm haben. Damit ist bei der Plateauhonbearbeitung eine flächige Anlage der Segmente an die formgehohte Bohrung abgesichert, da sich die Schneidstoffkörper unter lokaler elastischer Verformung des elastischen Grundkörpers dem welligen Verlauf der Bohrungsinnenfläche anpassen können.

[0066] Da die vorbereitete Innenfläche auch bei stark asymmetrisch deformierten, nicht-kreisförmigen Bohrungsformen eine sehr gleichmäßige Rauheitsverteilung haben kann, ist auch nach dem letzten Bearbeitungsschritt eine gleichmäßige Oberflächenstruktur gewährleistet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Honen der Innenfläche einer Bohrung in einem Werkstück, insbesondere zum Honen einer Zylinderlauffläche bei der Herstellung von Zylinderblöcken für Brennkraftmaschinen, bei dem ein Honwerkzeug innerhalb der Bohrung bewegt wird und mindestens eine an dem Honwerkzeug angebrachte Schneidgruppe mit mindestens einem Schneidstoffkörper zur materialabtragenden Bearbeitung der Innenfläche mit einer Zustellkraft an die Innenfläche angedrückt wird, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

Erzeugung einer Schwingungsbewegung der Schneidgruppe im Wesentlichen parallel zur Innenfläche nach Maßgabe mindestens eines Schwingungsparameters;
 Erzeugung einer der Schwingungsbewegung überlagerten Verschiebungsbewegung der Schneidgruppe entlang der Innenfläche nach Maßgabe mindestens eines Verschiebungsparameters;
 Steuerung der Schwingungsbewegung und/oder der Verschiebungsbewegung zur Erzeugung eines über die Innenfläche lokal variierenden Materialabtrages an der Innenfläche zur Erzeugung einer vorgegebenen Sollform der Bohrung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Schneidgruppe mit einer im wesentlichen konstanten Zustellkraft an die Innenfläche angedrückt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Schneidgruppe mit einer in Abhängigkeit der Hub- und Winkellage der Schneidgruppe variierenden Zustellkraft an die Innenfläche angedrückt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schwingungsbewegung im wesentlichen konstant gehalten wird und die Steuerung der

Verschiebungsbewegung in Abhängigkeit von der Sollform erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem für jeden lokalen Bereich der Innenfläche eine Gesamt-Überlaufzeit eingestellt wird, die im wesentlichen proportional zu dem korrespondierenden gewünschten lokalen Materialabtrag ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Verschiebungsbewegung durch eine Überlagerung einer Rotationsbewegung und einer alternierenden axialen Hubbewegung des Honwerkzeuges erzeugt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Honwerkzeug zur Erzeugung der Schwingungsbewegung in eine in Umfangsrichtung oszillierende Bewegung versetzt wird, wobei vorzugsweise für die in Umfangsrichtung oszillierende Bewegung eine Winkelamplitude von weniger als 90°, insbesondere von weniger als 45°, vorgegeben wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Honwerkzeug zur Erzeugung der Schwingungsbewegung in eine in Axialrichtung kurzhubig oszillierende Bewegung versetzt wird, die vorzugsweise eine Axialamplitude von zwischen 1 % und 10% der Werkzeuglänge hat.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine im wesentlichen starre Führung der Axialbewegung des Honwerkzeuges zur Erzeugung einer Axialbewegung des Honwerkzeuges im wesentlichen parallel zur Bohrungssachse der Bohrung und eine Steuerung der Schwingungsbewegung und der Verschiebungsbewegung einer einseitig an dem Honwerkzeug angebrachten Schneidgruppe in Abhängigkeit von der Hublage und/oder der Winkelposition des Honwerkzeuges.
10. Verfahren nach Anspruch 9, worin ein Honwerkzeug verwendet wird, welches einen Satz von um den Umfang des Honwerkzeuges verteilten Führungsleisten zur axialen Führung des Honwerkzeuges in der Bohrung umfasst, die vorzugsweise unabhängig von der Schneidgruppe in Richtung auf die Innenfläche der Bohrung zustellbar sind, wobei die im Wesentlichen starre Führung der Axialbewegung **dadurch** erreicht wird, dass die Führungsleisten während der Bewegung des Honwerkzeuges in der Bohrung an die Innenfläche der Bohrung angedrückt werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin ein Honwerkzeug verwendet wird, das eine einzige separat zustellbare Schneidgruppe hat,

die vorzugsweise einen Eingriffswinkel von weniger als 90° besitzt, wobei der Eingriffswinkel vorzugsweise zwischen 1° und 70° liegt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, worin ein Honwerkzeug verwendet wird, das eine erste Schneidgruppe, die in einem ersten Umfangswinkelbereich des Honwerkzeuges wirksam ist, sowie mindestens eine zweite, gesondert zustellbare Schneidgruppe hat, die in einem in Umfangsrichtung versetzt zum ersten Umfangswinkelbereich liegenden zweiten Umfangswinkelbereich des Honwerkzeuges wirksam ist, wobei die Zustellkraft für beide Schneidgruppen getrennt in Abhängigkeit von Winkelposition und Hublage des Honwerkzeuges gesteuert wird. 5
10
15

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin an der Bohrung Formabweichungen erzeugt werden, die einem Zylindrizitätsfehler ΔZ von mehr als 10 μm entsprechen, wobei der Zylindrizitätsfehler ΔZ vorzugsweise bei mehr als 20 μm , insbesondere zwischen 20 μm und ca. 60 μm liegt, wobei der Zylindrizitätsfehler definiert ist als $\Delta Z = (D_A - D_I) / 2$, wobei D_A der Durchmesser eines die Innenfläche der Bohrung außen berührenden Zylinders und D_I der Durchmesser eines die Innenfläche der Bohrung innen berührenden Zylinders ist. 20
25

14. Honmaschine, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13, die eine Bewegungs-Steuerungseinrichtung zur Steuerung der Bewegung mindestens einer an einem Honwerkzeug angebrachten Schneidgruppe in Abhängigkeit von der Hublage und/oder der Winkelposition des Honwerkzeuges in einer Bohrung hat, wobei die Bewegungs-Steuerungseinrichtung zur Erzeugung einer Schwingungsbewegung der Schneidgruppe im wesentlichen parallel zu einer Innenfläche der Bohrung nach Maßgabe mindestens eines Schwingungsparameters und zur Erzeugung einer der Schwingungsbewegung überlagerten Verschiebungsbewegung der Schneidgruppe entlang der Innenfläche der Bohrung nach Maßgabe mindestens eines Verschiebungsparameters konfiguriert ist. 30
35
40
45

15. Honmaschine nach Anspruch 14, bei der zur Einstellung einer lokal unterschiedlichen Werkstoffabtrennung sowohl die Hub- und/oder Umfangsgeschwindigkeit von langhubigen Verschiebungsbewegungen, als auch die Hub- und/oder Umfangsgeschwindigkeit von im Vergleich dazu kurzhubigeren Schwingungsbewegung jeweils in Abhängigkeit von der Hub- und Winkellage des Honwerkzeuges separat einstellbar sind. 50
55

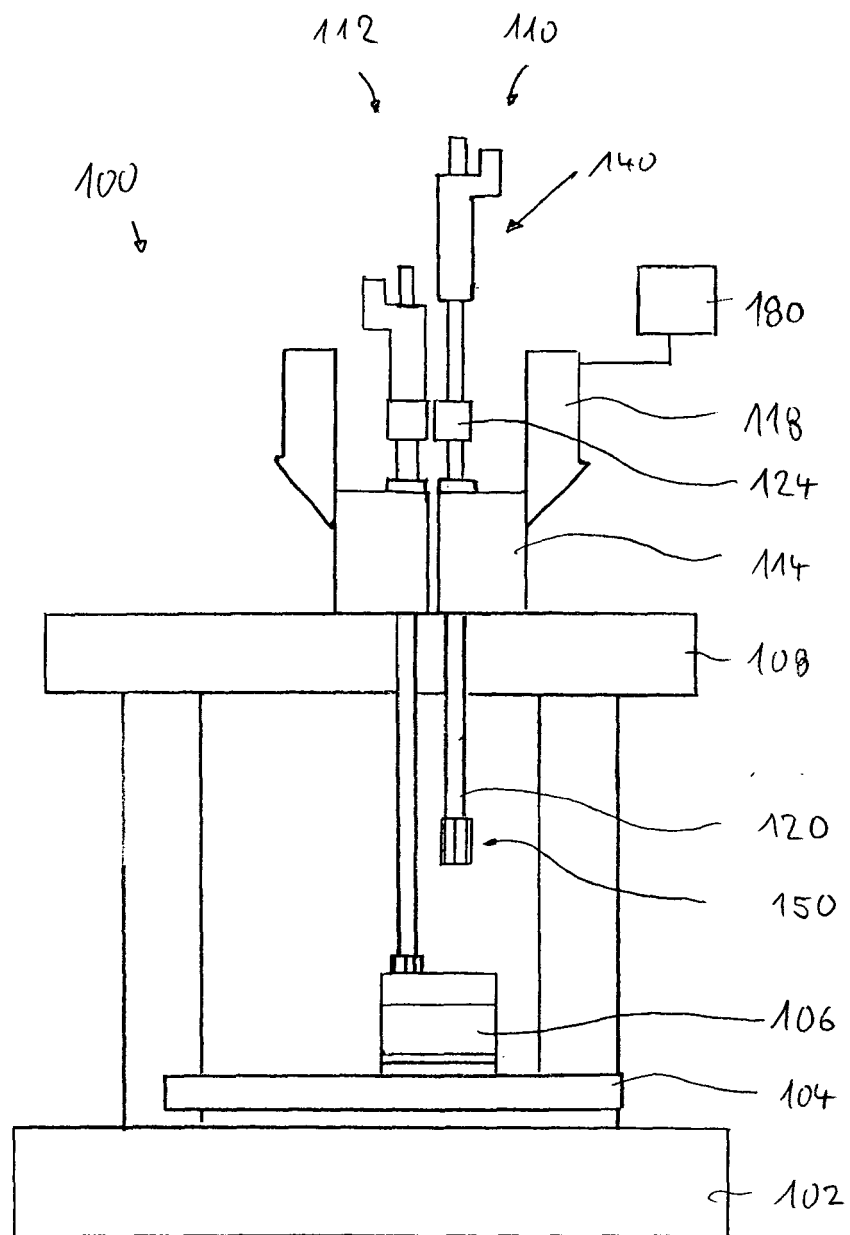


Fig. 1

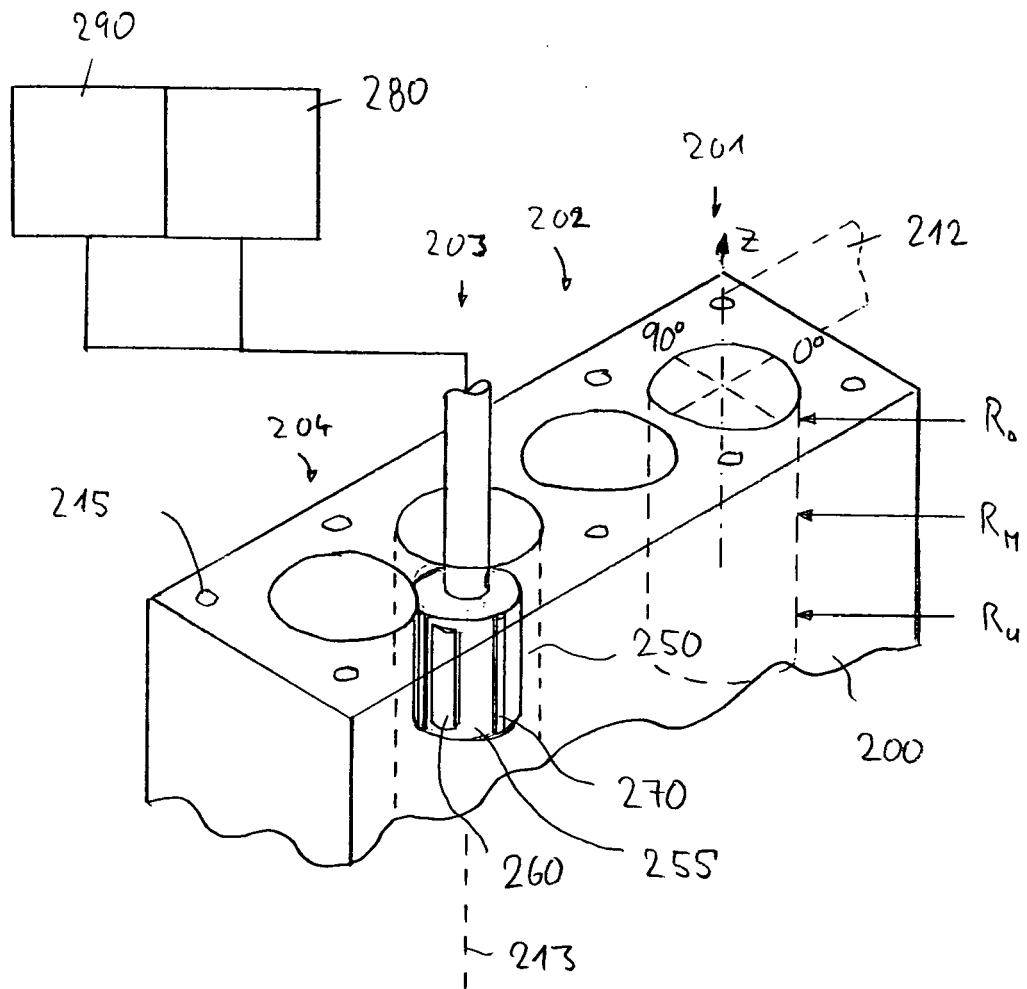


Fig. 2

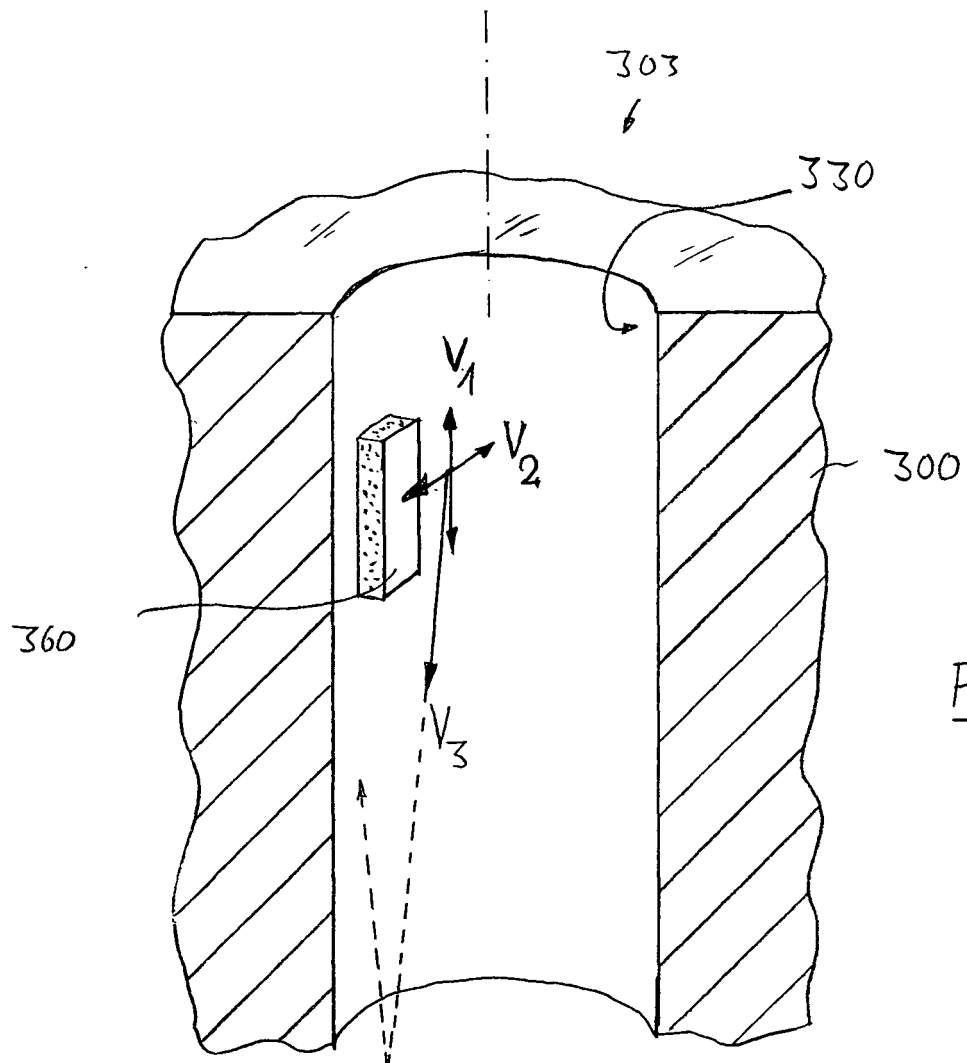


Fig. 4

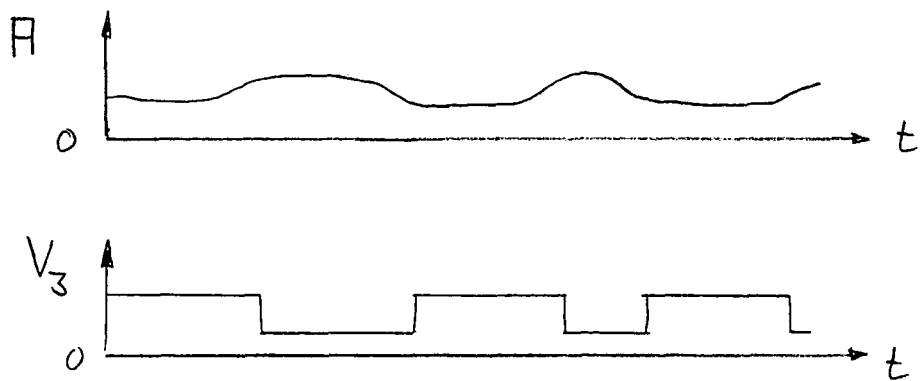


Fig. 5

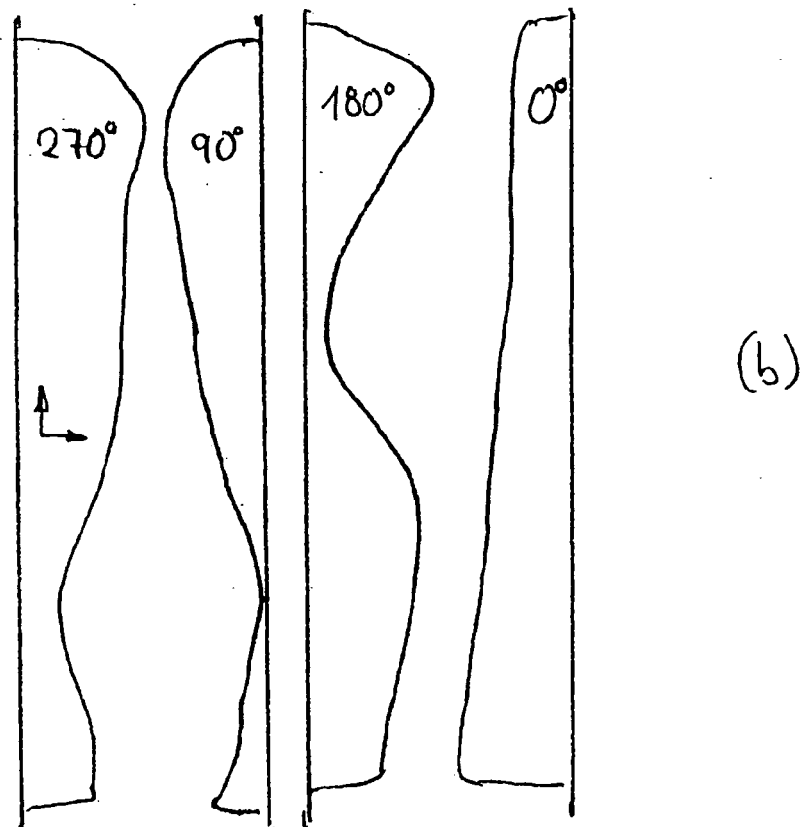
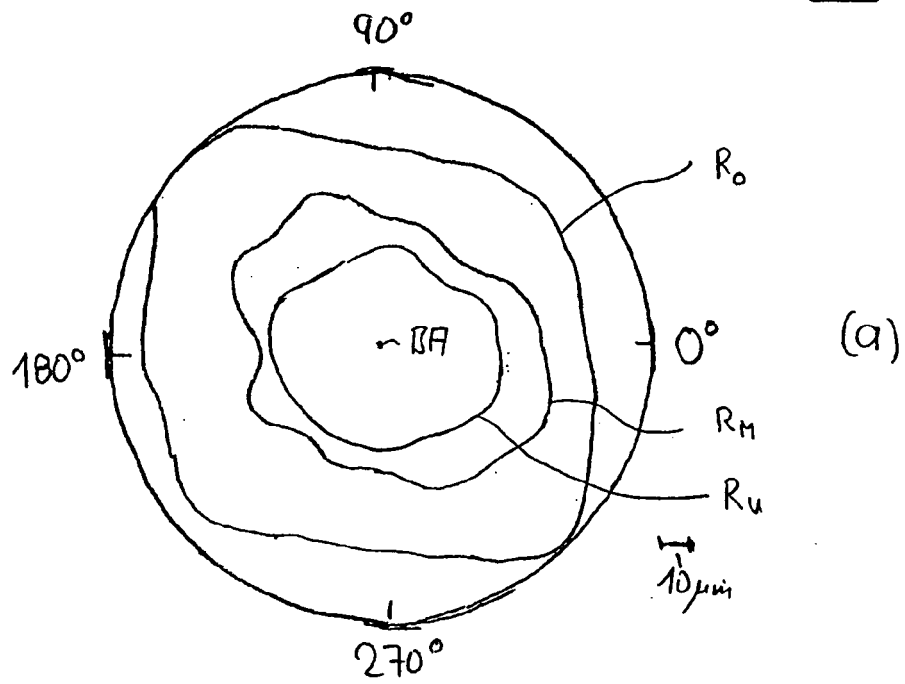
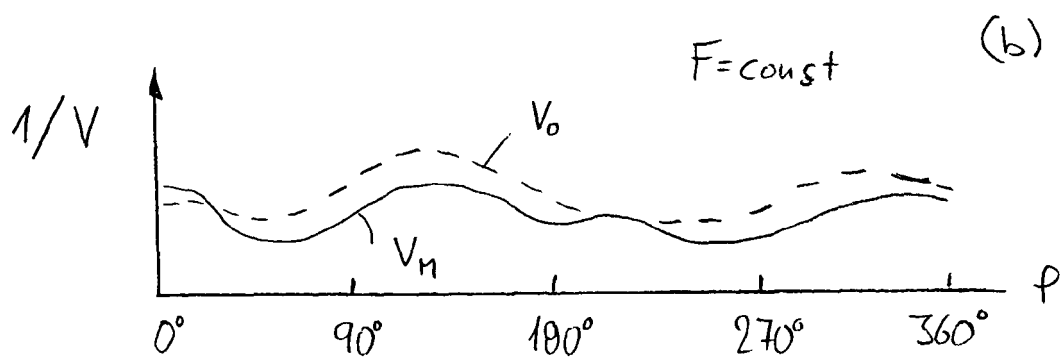
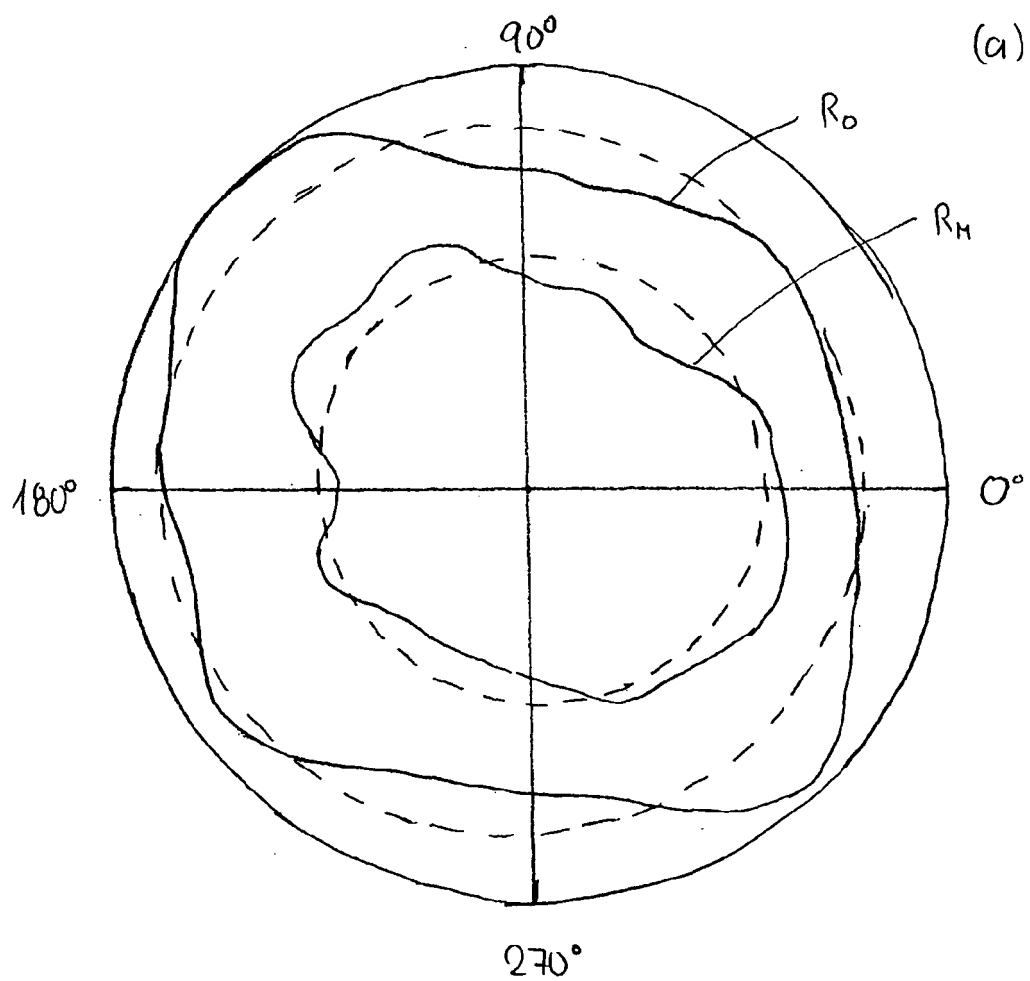


Fig. 6



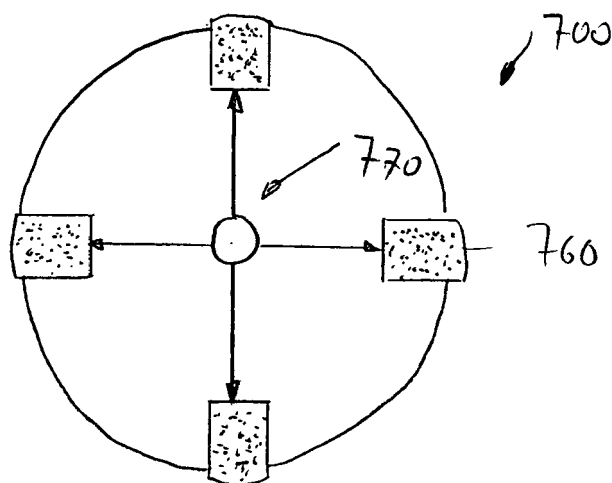


Fig. 7

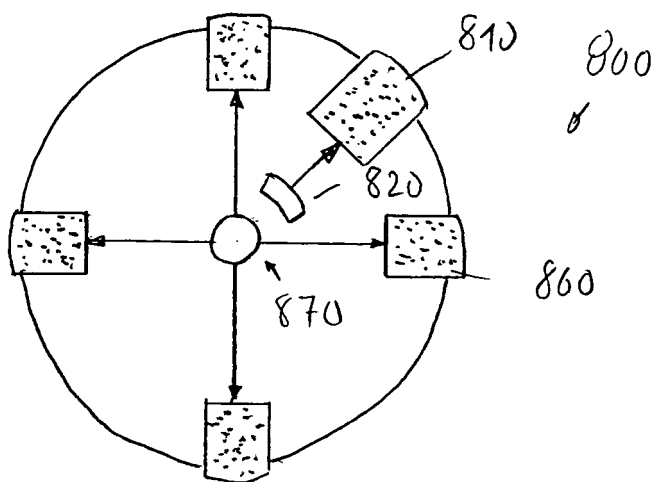


Fig. 8

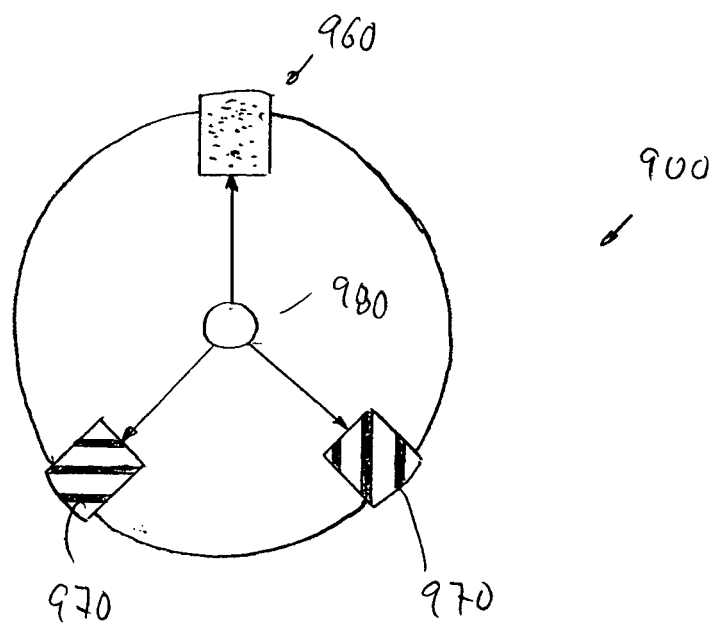


Fig. 9



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 06 00 2093

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	RU 2 189 897 C2 (T) 27. September 2002 (2002-09-27) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1-15	INV. B24B33/02 B24B33/06
X	RU 2 128 571 C1 (SAMARSKIJ GOSUDARSTVENNYJ TEKHNICHESKIJ UNIVERSITE) 10. April 1999 (1999-04-10) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,14	
X	SU 1 685 692 A1 (UFIMSKIJ AVIATIONNYJ I IM.SERGO ORDZHONIKIDZE) 23. Oktober 1991 (1991-10-23) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,14	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1999, Nr. 08, 30. Juni 1999 (1999-06-30) -& JP 11 058216 A (NISSHIN SEISAKUSHO:KK), 2. März 1999 (1999-03-02) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,14	
X	SU 525 533 A (N-WEST CORRESP PLY) 25. August 1976 (1976-08-25) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B24B
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 5. Juli 2006	Prüfer Garella, M
KATEGORIE DER GENANTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 06 00 2093

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

05-07-2006

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
RU 2189897 C2	27-09-2002	KEINE	
RU 2128571 C1	10-04-1999	KEINE	
SU 1685692 A1	23-10-1991	KEINE	
JP 11058216 A	02-03-1999	JP 3083787 B2	04-09-2000
SU 525533 A	25-08-1976	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 [0004]
- JP 11267960 A [0004]
- EP 1321229 A1 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **R. ZURRIN.** Variables Formhonen durch rechnergestützte Honprozesssteuerung. *Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe*, 1990, vol. 26 [0007]