



(19)

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 588 801 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.10.2005 Patentblatt 2005/43

(51) Int Cl.⁷: **B24B 31/116**, B24B 49/02,
F02M 61/16

(21) Anmeldenummer: **05004133.4**

(22) Anmeldetag: 25.02.2005

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS LT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR LV MK YU

- **Weikenstorfer, Thomas**
93086 Wörth/Donau (DE)
- **Ludwig, Christian**
94405 Fichtheim (DE)

(30) Priorität: **21.04.2004 DE 102004019356**

(74) Vertreter: Wunderlich, Rainer et al
Patentanwälte
Weber & Heim
Irmgardstrasse 3
81479 München (DE)

(71) Anmelder: **Sonplas GmbH**
94315 Straubing (DE)

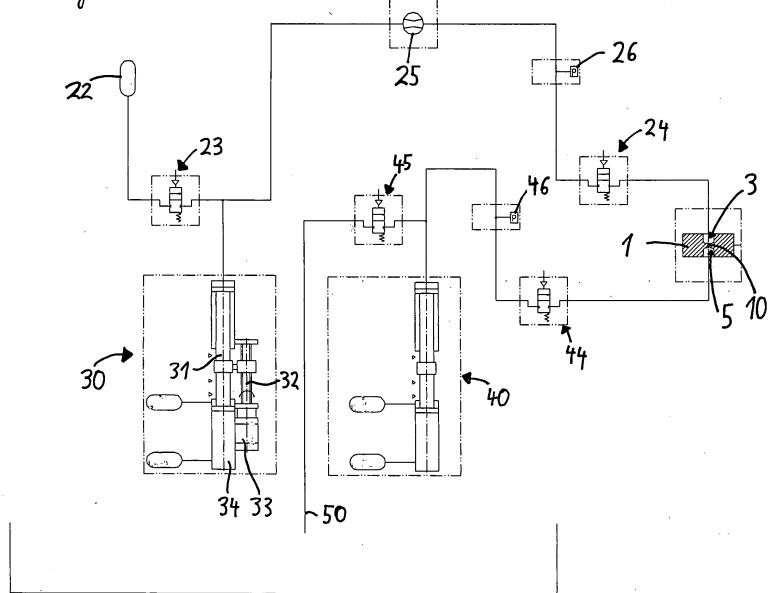
(72) Erfinder:
• Hasenecker, Thomas
94333 Geiselhöring (DE)

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung mit einem Abtragungsfluid

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung (10), bei dem ein Abtragungsfluid auf einer Seite (3) der Durchgangsöffnung (10) mit einem Schleifdruck und auf der anderen Seite (5) der Durchgangsöffnung (10) mit einem Gegendruck beaufschlagt wird und das Abtragungsfluid unter Materialabtragung in der Durchgangsöffnung (10) in Strö-

zung versetzt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass zunächst der Gegengedruck in etwa gleich dem Schleifdruck eingestellt wird und dann anschließend zum Erzeugen der Strömung eine Druckdifferenz zwischen dem Schleifdruck und dem Gegendruck eingestellt wird. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung, insbesondere eines Ventikanals, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, bei dem ein Abtragungsfluid auf einer Seite der Durchgangsöffnung mit einem Schleifdruck und auf der anderen Seite der Durchgangsöffnung mit einem Gegendruck beaufschlagt wird und das Abtragungsfluid unter Materialabtragung in der Durchgangsöffnung in Strömung versetzt wird.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung mit einem Abtragungsfluid unter Strömung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 9, mit einer Schleifdruckerzeugungseinrichtung zum Erzeugen eines Schleifdrucks im Abtragungsfluid auf einer Seite der Durchgangsöffnung, einer Gegendruckerzeugungseinrichtung zum Erzeugen eines Gegendrucks im Abtragungsfluid auf der anderen Seite der Durchgangsöffnung und einer Steuerung, die zum Steuern des Schleifdrucks mit der Schleifdruckerzeugungseinrichtung in Verbindung steht.

[0003] Aus der DE 199 41 472 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum hydroerosiven Bearbeiten eines Ventikanals bekannt. Um eine Kavitation des hydroerosiven Abtragungsfluids beim Bearbeiten zu verhindern, lehrt diese Druckschrift, auf der Abströmseite des Ventikanals einen Gegendruck aufzubauen. Dies ermöglicht einen weitgehend kavitationsfreien Schleifbetrieb im Betriebsdruckbereich des Ventikanals.

[0004] Gemäß der Lehre der DE 199 41 472 A1 wird der Gegendruck entweder mittels einer an der Abströmseite angeordneten Blende oder mittels eines dort angeordneten Blasen- oder Membranspeichers erzeugt. Nachteilig bei diesem bekannten Gegendruckschleifverfahren können vergleichsweise unkontrollierte Druckverhältnisse, insbesondere Gegendruckverhältnisse, zu Beginn des Schleifprozesses sein, die zu entsprechend unkontrollierten Durchflussraten und somit Abtragungsraten in der Anfangsphase des Schleifprozesses führen können.

[0005] **Aufgabe** der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung anzugeben, mit denen die Durchgangsöffnung mit besonders hoher Genauigkeit eingestellt werden kann.

[0006] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Bevorzugte Ausführungsbeispiele sind in den jeweils abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist das erfindungsgemäße Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass zunächst der Gegendruck in etwa gleich dem Schleifdruck eingestellt wird und dass anschließend zum Erzeugen der Strömung eine Druckdifferenz zwischen dem Schleifdruck und dem Gegendruck eingestellt wird.

[0008] Ein Grundgedanke der Erfindung liegt darin, dass zu Beginn der Bearbeitung der Druck beiderseits der Durchgangsöffnung, die auch als Kanal bezeichnet werden kann, zumindest annähernd identisch eingestellt wird. Somit besteht zu Beginn der Bearbeitung 5 kein oder allenfalls ein geringer Druckunterschied entlang der Durchgangsöffnung, und folglich ist die Strömungsgeschwindigkeit des Abtragungsfluids in der Durchgangsöffnung und daher auch die Abtragungsrate

10 an der Durchgangsöffnung zu Beginn der Bearbeitung gleich Null oder allenfalls sehr gering. Erfindungsgemäß wird dann im Anschluss an das Einstellen des Gegendrucks und des Schleifdrucks auf zumindest in etwa gleiche Werte eine von Null verschiedene Druckdifferenz 15 zwischen dem Schleifdruck, der auch als Bearbeitungsdruck oder Vordruck bezeichnet werden kann, und dem Gegendruck eingestellt. Aufgrund dieser Druckdifferenz zwischen den beiden Seiten der Durchgangsöffnung wird das Abtragungsfluid nun in Strömung versetzt 20 und es erfolgt eine Materialabtragung an der Durchgangsöffnung, die sowohl im Inneren der Durchgangsöffnung als auch an ihrem Randbereich, d.h. an ihrer schleifdruck- und/oder gegendruckseitigen Kante, stattfinden kann. Erfindungsgemäß sind somit die Druckverhältnisse 25 an der Durchgangsöffnung bereits zu Beginn der Bearbeitung genau definiert, weshalb eine besonders exakte Bearbeitung ermöglicht wird. Die Einstellung von Schleif- und Gegendruck kann durch eine bevorzugt aktiv ausgebildete Steuerung erfolgen.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere geeignet für die Bearbeitung von Steuer- und/oder Düsenbohrungen, insbesondere an Bauteilen von Kraftstoffeinspritzventilen. Bevorzugterweise kann das Verfahren zur Durchflusseinstellung der Durchgangsöffnung dienen. Dabei ist das Verfahren auch dahingehend vorteilhaft, dass zu Beginn der Bearbeitung bei zumindest annähernd konstanten Druckverhältnissen häufig ein besonders hoher zeitlicher Anstieg des Durchflusses des Abtragungsfluides auftritt und der Anstieg mit zunehmender Bearbeitungsdauer immer geringer wird, da immer mehr Material an der schleifdruckseitigen Kante der Durchgangsöffnung entfernt werden muss. Das erfindungsgemäße Verfahren gewährleistet aber gerade zu Beginn des Schleifprozesses besonders 40 gut definierte Strömungsverhältnisse, so dass der Durchfluss besonders genau einstellbar ist.

[0010] Bei dem Abtragungsfluid kann es sich grundsätzlich um ein beliebiges strömungsfähiges Kontinuum handeln, welches auf das die Durchgangsöffnung umgebende Material unter Strömung eine abtragende Wirkung hat. Besonders bevorzugt ist es, dass das Abtragungsfluid eine hydroerosive Schleifflüssigkeit mit einer Trägerflüssigkeit und darin enthaltenen Schleifpartikeln ist. Unter hydroerosiven Schleifflüssigkeiten im Sinne 50 der Erfindung können sowohl Schleifflüssigkeiten mit einer Trägerflüssigkeit auf Wasserbasis als auch solche mit einer Trägerflüssigkeit auf Ölbasis oder einer sonstigen Basis verstanden werden. Insbesondere kann 55

das hydroerosive Abtragungsfluid erfindungsgemäß auch wasserfrei sein. Der abrasive Anteil der abrasiven Schleifpartikel in der Schleifflüssigkeit wird geeigneterweise so eingestellt, dass ein möglichst breiter Eingangstoleranzbereich für den Durchmesser und/oder für den Durchfluss der Durchgangsöffnung bei geeigneten Bearbeitungszeiten für den Schleifprozess abgedeckt werden kann. Insbesondere kann das Abtragungsfluid derart gewählt werden, dass im Laufe der Bearbeitung im Mittel eine Durchflussteigerung, d.h. eine Steigerung der Durchflussrate des Abtragungsfluids, von etwa 7 % bis 15 % erzielt wird, die vorzugsweise unabhängig von der Kanalgeometrie vorgesehen wird.

[0011] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Einstellen der Druckdifferenz der Gegendruck zusammen mit dem Schleifdruck hochgefahren wird. Bei dieser bevorzugten Verfahrensvariante werden die Drücke auf beiden Seiten der Durchgangsöffnung zu Beginn des Bearbeitungsvorganges parallel, d.h. gleichzeitig aufgebaut, wobei der Schleifdruck und der Gegendruck bereits beim Hochfahren zumindest annähernd gleich eingestellt sind.

[0012] Grundsätzlich ist es möglich, die Druckdifferenz im Anschluss an die Gleicheinstellung von Gegendruck und Schleifdruck dadurch zu erzeugen, dass der Gegendruck gegenüber dem Schleifdruck erniedrigt wird, wobei der Schleifdruck insbesondere konstant bleibt. Besonders bevorzugt ist jedoch, dass zum Erzeugen der Druckdifferenz für die Strömung der Schleifdruck zunächst gegenüber dem Gegendruck erhöht wird. Geeigneterweise wird dabei der Gegendruck konstant gehalten. Eine solche Verfahrensführung kann prozesstechnisch insbesondere mittels Kolbenpumpen besonders einfach realisiert werden.

[0013] Erfindungsgemäß ist ferner besonders vorteilhaft, dass mindestens eine Kenngröße der Durchgangsöffnung, insbesondere eine Durchflussrate, deren zeitliche Änderung, ein Durchmesser, eine Materialabtragungsrate, ein Druck und/oder ein Wandneigungswinkel, ermittelt wird und dass die Druckdifferenz in Abhängigkeit der mindestens einen Kenngröße eingestellt wird. Eine derartige Verfahrensführung ermöglicht eine gezielte, insbesondere bauteilabhängige Einstellung der Bearbeitungsgeschwindigkeit durch gezielte Einstellung und Regelung des Schleifdrucks und des Gegendrucks anhand der ermittelten Kenngröße der Durchgangsöffnung. Hierdurch können einerseits zu hohe Abtragungsraten, dass heißt zu geringe Bearbeitungszeiten, die eine genaue Prozesskontrolle erschweren, weitestgehend vermieden werden. Andererseits können auch zu geringe Abtragungsraten, die die Bearbeitungszeiten erhöhen und somit den Bauteildurchsatz in der Produktion verringern können, weitestgehend vermieden werden. Die bevorzugte Verfahrensführung ermöglicht es insbesondere, Durchflusstoleranzen, die beispielsweise in herstellungsbedingten Durch-

messertoleranzen der Durchgangsöffnung begründet sein können, zu berücksichtigen.

[0014] Insbesondere bei Verwendung eines Senkersionsverfahrens zum Einbringen von Bohrung können 5 derartige Durchflusstoleranzen beispielsweise etwa +/- 5 % betragen. Durch die erfindungsgemäß kenngrößen-abhängige Regelung der Druckdifferenz können aus diesem Toleranzbereich resultierende Schwankungen der Zeiten für die hydroerosive Bearbeitung, die auf dem 10 relativ großen Einfluss der Durchflussraten auf die Bearbeitungszeiten beruhen, stark vermindert werden. Zur Anpassung der Druckdifferenz an unterschiedliche Durchmesser der Durchgangsöffnungen kann als Kenngröße insbesondere die Durchflussrate des Abtragungsfluids durch die Durchgangsöffnung bestimmt 15 werden. Der Durchmesser der Durchgangsöffnung kann aber auch in sonstiger Weise direkt oder indirekt bestimmt werden.

[0015] Neben einer Berücksichtigung von Toleranzen 20 im Durchmesser und/oder in der Durchflussrate der Durchgangsöffnung können mittels der kenngrößenabhängigen Einstellung der Druckdifferenz aber auch unterschiedliche Kanalgeometrien, d.h. Querschnittsformen der Durchgangsöffnung berücksichtigt werden. 25 Hierzu kann bevorzugt die zeitliche Änderung der Durchflussrate des Abtragungsfluids in der Durchgangsöffnung bestimmt werden. Es kann aber auch der Wandneigungswinkel an der schleifdruck- und/oder gegendruckseitigen Kante der Durchgangsöffnung auf andere Weise direkt oder indirekt bestimmt werden. Bei 30 der Bestimmung der zeitlichen Änderung der Durchflussrate, d.h. deren zeitlichen Ableitung, kann berücksichtigt werden, dass bei einem konisch nach außen öffnenden Kanal, d.h. bei einem Kanal, dessen schleifdruckseitiger Durchmesser kleiner als sein gegendruckseitiger Durchmesser ist, der Anstieg der Durchflussrate zu Beginn der Bearbeitung durch die eintretende Bohrungsdurchmessererweiterung verglichen mit einem zylindrischen Kanal erhöht ist. Bei einem konisch nach außen verjüngten Kanal hingegen, d.h. bei einem Kanal, 40 dessen schleifdruckseitiger Durchmesser größer als sein gegendruckseitiger Durchmesser ist, wird der anfängliche Durchflussanstieg nach kurzer Bearbeitungsdauer verlangsamt, da die Drosselwirkung des Kanals 45 maßgeblich durch die Verjüngung des Kanals bestimmt wird.

[0016] Durch die erfindungsgemäße kenngrößen-abhängige Einstellung der Druckdifferenz kann weitestgehend verhindert werden, dass Teile am oberen Durchflusstoleranzband und/oder solche mit konisch nach außen öffnender Kanalgeometrie durch zu kurze Bearbeitungszeiten auf einen fehlerhaften Durchflusswert geschliffen werden und dadurch aus dem Produktionsprozess ausgeschleust werden müssen. Andererseits kann 50 weitestgehend verhindert werden, dass bei Teilen mit konisch nach außen verjüngter Kanalgeometrie die Schleifzeiten zu lang werden, wodurch gegebenenfalls 55 die in einer Kolbenpumpe eingespeicherte Abtragungs-

fluidmenge nicht zur Beendigung der Bearbeitung ausreicht und somit die Bearbeitung unterbrochen werden muss, was zu einer wesentlichen Verlängerung der Bearbeitungsdauer sowie zu einem erhöhten Ausschusssanteil führen kann.

[0017] Eine besonders brauchbare Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Druckdifferenz zunächst auf einen vorher bestimmten, ersten Druckdifferenzwert eingestellt und die Kenngröße ermittelt wird und dass die Druckdifferenz anschließend kenngrößenabhängig eingestellt wird. In dieser Ausführungsform erfolgt die Bestimmung der Kenngröße und insbesondere der Durchflusseigenschaften der Durchgangsöffnung bereits am Prozessbeginn, bevorzugt unmittelbar nach dem Einstellen des ersten Druckdifferenzwertes. Der Prozess ist hierdurch bereits in der Anfangsphase des Schleifprozesses steuerbar, wodurch Durchgangsöffnungen mit einer besonders breiten Bauteiltoleranz zuverlässig auf einen Zielwert hin bearbeitet werden können.

[0018] Erfindungsgemäß besonders bevorzugt ist es, dass der erste Druckdifferenzwert relativ zum Schleifdruck 5 bis 15 %, insbesondere etwa 10 % beträgt. Ein solcher Druckdifferenzwert ermöglicht eine sichere Kenngrößenbestimmung bei gleichzeitig ausreichend niedriger anfänglicher Abtragungsrate.

[0019] Eine besondere geeignete Weiterbildung der Erfindung besteht ferner darin, dass die Druckdifferenz invers zur Durchflussrate und/oder dem Durchmesser eingestellt wird. Hierunter wird verstanden, dass die Druckdifferenz bei geringer Durchflussrate und/oder geringem Durchmesser der Durchgangsöffnung vergrößert und bei großer Durchflussrate und/oder großem Durchmesser verkleinert wird. Hierdurch wird eine besonders wirksame Kontrolle des Bearbeitungsprozesses ermöglicht.

[0020] Erfindungsgemäß kann es besonders nützlich sein, dass die Richtung der Strömung in der Durchgangsöffnung insbesondere kenngrößenabhängig umgekehrt wird. Dies kann vor allem bei Vorliegen einer konisch nach außen verjüngten Kanalgeometrie der Durchgangsöffnung durchgeführt werden, d.h. bei einem Kanal, dessen schleifdruckseitiger Durchmesser größer als sein gegendruckseitiger Durchmesser ist. Durch die umgekehrte Strömung des Abtragungsfluids von der Gegendruckseite auf die Schleifdruckseite des Bauteils wird gezielt die gegendruckseitige Seite, d.h. die auslassseitige Seite der Durchgangsöffnung bearbeitet, was zu einer besonders wirksamen Vergrößerung der Durchgangsöffnung führt. Die zum Nachweis einer nach außen verjüngten Kanalgeometrie und zur Umkehr der Strömung herangezogene Kenngröße kann insbesondere die zeitliche Änderung der Durchflussrate und/oder der Wandneigungswinkel an der gegendruckseitigen Kante der Durchgangsöffnung sein.

[0021] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dienen, wodurch die in diesem Zusammen-

hang beschriebenen Vorteile erreicht werden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung mit der Gegendruckerzeugungseinrichtung zum Steuern des Gegendrucks in Verbindung

5 steht. Hierdurch kann ein unabhängiges Steuern des Schleifdrucks und des Gegendrucks realisiert werden. Bevorzugt können diese Drücke auch zu Beginn der Bearbeitung, zunächst durchflussratenunabhängig eingestellt werden. Hierdurch wird eine besonders präzise 10 Bearbeitung der Durchgangsöffnung ermöglicht. Unter dem Steuern der Drücke kann erfindungsgemäß auch ein Regeln verstanden werden.

[0022] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform 15 der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Kenngrößenerfassungseinrichtung zum Ermitteln mindestens einer Kenngröße der Durchgangsöffnung vorgesehen ist, und dass die Kenngrößenerfassungseinrichtung zum kenngrößenabhängigen Steuern einer Druckdifferenz zwischen dem 20 Schleifdruck und dem Gegendruck mit der Steuerung in Verbindung steht. Bei der mindestens einen Kenngröße kann es sich insbesondere um eine der im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschriebenen Kenngrößen handeln, wodurch mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Steuerung der Druckdifferenz und folglich der Durchflussrate des Abtragungsfluides in Abhängigkeit von den Abmessungen 25 und der Geometrie der Durchgangsöffnung erfolgen kann.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme 30 auf die Zeichnung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die einzige Figur zeigt schematisch:

35 Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung.

[0024] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung ist in der 40 Fig. 1 dargestellt. Die Vorrichtung weist einen Vorratsbehälter 22 zur Aufnahme von Abtragungsfluid auf. Der Vorratsbehälter 22 steht über ein erstes Absperrorgan 23 mit einer Schleifdruckkolbenpumpe 30 einer Schleifdruckerzeugungseinrichtung in Fluidverbindung, die einen zeitlich konstanten Volumenstrom und/oder einen 45 zeitlich konstanten Druck des Abtragungsfluids erzeugen kann. Zur Steuerung des Pumpvolumens weist die Schleifdruckkolbenpumpe 30 eine Spindel 32 auf, die von einem als Schrittmotor ausgebildeten Motor 33 angetrieben wird und die zusammen mit einem Hydraulikzylinder 34 einen Kolben 31 der Schleifdruckkolbenpumpe 30 antreibt.

[0025] Über einen Durchflusssensor 25 einer nicht 50 dargestellten Kenngrößenerfassungseinrichtung sowie ein zweites Absperrorgan 24 steht die Schleifdruckkolbenpumpe 30 seitens einer Einlaufseite 3 einer Durchgangsöffnung 10 in einem Bauteil 1 mit dieser Durchgangsöffnung 10 in Fluidverbindung. Zwischen der Schleifdruckkolbenpumpe 30 und dem zweiten Absper-

rgan 24 ist ein Schleifdrucksensor 26 zum Bestimmen des Schleifdrucks oberstromig und einlaufseitig des Bauteils 1 vorgesehen. Die im Bauteil 1 befindliche und als Bohrung ausgebildete Durchgangsöffnung 10 wird beim erfundungsgemäßen Verfahren durch fließendes Abtragungsfluid insbesondere einlaufseitig an einer einlaufseitigen Einlasskante verrundet.

[0026] Seitens ihrer Auslaufseite 5 steht die Durchgangsöffnung 10 über ein drittes Absperrorgan 44 mit einer Gegendruckkolbenpumpe 40 einer Gegendruckerzeugungseinrichtung in Verbindung, die zum Erzeugen eines auslaufseitigen Gegendrucks dient. Die Gegendruckkolbenpumpe 40 ist hydraulisch betätigbar ausgebildet. Zwischen dem dritten Absperrorgan 44 und der Gegendruckkolbenpumpe 40 ist ein Gegendrucksensor 46 zum Bestimmen des Gegendrucks angeordnet. Über ein viertes Absperrorgan 45 steht die Gegendruckkolbenpumpe 40 zum Entleeren mit einer Ablaufleitung 50 in Verbindung.

[0027] Die dargestellte Vorrichtung kann insbesondere zur Konstantdruckbearbeitung und/oder zur Konstantvolumenstrombearbeitung der Durchgangsöffnung 10 dienen. Bei der ersten Verfahrensvariante, der Konstantdruckbearbeitung, werden zu Beginn der Bearbeitung mittels der Schleifdruckkolbenpumpe 30 und der Gegendruckkolbenpumpe 40 die Drücke an der Einlaufseite 3 und an der Auslaufseite 5 des Bauteils 1 parallel aufgebaut, wodurch in der Durchgangsöffnung 10 noch keine Strömung des Abtragungsfluids erzeugt wird und somit keine effektive Bearbeitung der Durchgangsöffnung 10 erfolgt. Mit Erreichen eines auslaufseitigen Solldrucks, der mittels des Gegendrucksensors 46 bestimmt werden kann, wird der Gegendruckaufbau gestoppt und lediglich der einlaufseitige, d.h. der eingangsseitige Druck weiter gesteigert, bis ein Druck erreicht wird, der unter Ausbildung einer Druckdifferenz an der Durchgangsöffnung 10 geringfügig höher ist als der Solldruck und einen vergleichsweise geringen und langsamen Materialabtrag in der Durchgangsöffnung 10 gewährleistet. Bei dieser Druckdifferenz wird mittels des Durchflusssensors 25 eine Bestimmung des Durchflusses sowie der zeitlichen Durchflussänderung durchgeführt.

[0028] Weist das Ergebnis auf ein Bauteil 1 im oberen Durchflusstoleranzfeld hin, werden der Schleifdruck und der Gegendruck unverändert gelassen und die Bearbeitung wird fortgeführt.

[0029] Weist das Ergebnis auf ein Bauteil 1 im mittleren Durchflusstoleranzfeld hin, wird der Gegendruck abgesenkt, wodurch der Materialabtrag an der eingangsseitige Kante der Durchgangsöffnung 10 und somit die Bearbeitungsgeschwindigkeit gesteigert wird.

[0030] Weist das Ergebnis auf ein Bauteil 1 im unteren Durchflusstoleranzfeld hin, wird der Gegendruck abgesenkt und gleichzeitig der Schleifdruck angehoben, wodurch der Materialabtrag an der eingangsseitigen Kante der Durchgangsöffnung 10 und somit die Bearbeitungsgeschwindigkeit weiter gesteigert wird.

[0031] Tritt während der Bearbeitung eine Stagnation des zeitlichen Anstieges des Durchflusses ein, so kann dies auf eine konisch nach außen, d.h. zur Auslaufseite 5 hin verjüngte Geometrie der Durchgangsöffnung 10 hinweisen. In diesem Fall kann der Gegendruck so weit angehoben, dass sich ein inverser Fluss, d.h. eine inverse Strömung des Abtragungsfluids durch die Durchgangsöffnung 10 einstellt und somit gezielt die Auslaufseite 5 bearbeitet wird, wodurch der Durchmesser der

10 Durchgangsöffnung 10 besonders effizient vergrößert wird. Vor Erreichen eines gewünschten Sollwertes für den Durchfluss wird der Gegendruck wieder auf den vorherigen Wert abgesenkt und die Bearbeitung mit normaler Strömungsrichtung zu Ende geführt.

15 **[0032]** Die für die unterschiedlichen Bearbeitungsdrücke unterschiedlichen Solldurchflüsse werden von einer Steuerung für jedes Druckverhältnis individuell berechnet. Als Abschaltkriterium kann ein vom Durchflusssensor 25 gelieferter Wert verwendet werden.

20 **[0033]** Bei der zweiten Verfahrensvariante, der Konstantvolumenstrombearbeitung, werden zur Beginn der Bearbeitung ebenfalls mittels der Schleifdruckkolbenpumpe 30 und der Gegendruckkolbenpumpe 40 der Schleifdruck an der Einlaufseite 3 und der Gegendruck 25 an der Auslaufseite 5 parallel aufgebaut, wodurch keine effektive Bearbeitung erfolgt. Mit Erreichen eines auslaufseitigen Solldrucks wird der Gegendruckaufbau gestoppt und der einlaufseitige Schleifdruck wird weiter gesteigert, bis unter Ausbildung einer Druckdifferenz 30 ein Schleifdruck erreicht wird, der nur geringfügig höher ist als der Gegendruck, wodurch ein vergleichsweise geringer Materialabtrag gewährleistet wird. Bei diesem Druckverhältnis wird mittels des Durchflusssensors 25 eine Bestimmung des Durchflusses, d.h. der Durchflussrate durchgeführt.

35 **[0034]** Weist das Ergebnis auf ein Bauteil 1 im oberen Durchflusstoleranzfeld hin, wird mittels der Schleifdruckkolbenpumpe 30 der für dieses Druckverhältnis mittels einer Steuerung errechnete Solldurchfluss erzeugt, wobei der Gegendruck mittels der Gegendruckkolbenpumpe 40 unverändert gelassen und die Bearbeitung fortgeführt wird.

40 **[0035]** Weist das Ergebnis auf ein Bauteil 1 im mittleren Durchflusstoleranzfeld hin, wird mittels der Schleifdruckkolbenpumpe 30 der für dieses Druckverhältnis errechnete Solldurchfluss erzeugt, wobei der Gegendruck unverändert gelassen oder abgesenkt wird und die Bearbeitung fortgeführt wird.

45 **[0036]** Weist das Ergebnis auf ein Bauteil 1 im unteren Durchflusstoleranzfeld hin, wird der Schleifdruck angehoben, der Gegendruck abgesenkt und mittels der Schleifdruckkolbenpumpe 30 der für dieses Druckverhältnis errechnete Solldurchfluss erzeugt und die Bearbeitung fortgeführt.

50 **[0037]** Tritt während der Bearbeitung eine Stagnation der zeitlichen Änderung des Schleifdrucks oder der Durchflussrate ein, so kann dies auf eine konisch nach außen, d.h. zur Auslaufseite 5 hin verjüngte Geometrie

der Durchgangsöffnung 10 hinweisen. In diesem Fall kann der Gegendruck so weit angehoben werden, dass sich eine inverse Strömung durch die Durchgangsöffnung 10 einstellt und somit diese Durchgangsöffnung 10 an der Auslaufseite 5 bearbeitet wird wodurch der Durchmesser der Durchgangsöffnung 10 besonders effizient vergrößert wird. Vor Erreichen eines gewünschten Sollwertes für den Durchfluss wird der Gegendruck wieder auf den vorherigen Wert abgesenkt und die Bearbeitung mit normaler Strömungsrichtung zu Ende geführt.

[0038] Die für die unterschiedlichen Bearbeitungsdrücke unterschiedlichen Solldurchflüsse können von einer Steuerung für jedes Druckverhältnis individuell errechnet werden. Als Abschaltkriterium kann ein vom Schleifdrucksensor 26, vom Gegendrucksensor 46 und/oder vom Durchflussmesssensor 25 gelieferte Wert verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung (10), insbesondere eines Ventikanals, bei dem

- ein Abtragungsfluid auf einer Seite der Durchgangsöffnung (10) mit einem Schleifdruck und auf der anderen Seite der Durchgangsöffnung (10) mit einem Gegendruck beaufschlagt wird und
- das Abtragungsfluid unter Materialabtragung in der Durchgangsöffnung (10) in Strömung versetzt wird,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** zunächst der Gegendruck in etwa gleich dem Schleifdruck eingestellt wird und
- **dass** anschließend zum Erzeugen der Strömung eine Druckdifferenz zwischen dem Schleifdruck und dem Gegendruck eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** vor dem Einstellen der Druckdifferenz der Gegendruck zusammen mit dem Schleifdruck hochgefahren wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** zum Erzeugen der Druckdifferenz für die Strömung der Schleifdruck zunächst gegenüber dem Gegendruck erhöht wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**,

5 **dass** mindestens eine Kenngröße der Durchgangsöffnung (10), insbesondere eine Durchflussrate, deren zeitliche Änderung, ein Durchmesser, eine Materialabtragungsrate, ein Druck und/oder ein Wandneigungswinkel, ermittelt wird und

10 **dass** die Druckdifferenz in Abhängigkeit der mindestens einen Kenngröße eingestellt wird.

15 5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die Druckdifferenz zunächst auf einen vorher bestimmten, ersten Druckdifferenzwert eingestellt und die Kenngröße ermittelt wird, und **dass** die Druckdifferenz anschließend kenngrößenabhängig eingestellt wird.

20 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der erste Druckdifferenzwert relativ zum Schleifdruck 5% bis 15%, insbesondere etwa 10% beträgt.

25 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die Druckdifferenz invers zur Durchflussrate und/oder dem Durchmesser eingestellt wird.

30 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die Richtung der Strömung in der Durchgangsöffnung insbesondere kenngrößenabhängig umgekehrt wird.

35 9. Vorrichtung zum Bearbeiten einer Durchgangsöffnung (10) mit einem Abtragungsfluid unter Strömung, insbesondere zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit

- einer Schleifdruckerzeugungseinrichtung zum Erzeugen eines Schleifdrucks im Abtragungsfluid auf einer Seite der Durchgangsöffnung (10),
- einer Gegendruckerzeugungseinrichtung zum Erzeugen eines Gegendrucks im Abtragungsfluid auf der anderen Seite der Durchgangsöffnung (10) und
- einer Steuerung, die zum Steuern des Schleifdrucks mit der Schleifdruckerzeugungseinrichtung in Verbindung steht,

50 **dadurch gekennzeichnet**,

- **dass** die Steuerung zudem mit der Gegendruckerzeugungseinrichtung zum Steuern des Gegendrucks in Verbindung steht.

55 10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**,

dass eine Kenngrößenerfassungseinrichtung zum Ermitteln mindestens einer Kenngröße der Durchgangsöffnung (10) vorgesehen ist, und
dass die Kenngrößenerfassungseinrichtung zum kenngrößenabhängigen Steuern einer Druckdifferenz zwischen dem Schleifdruck und dem Gegendruck mit der Steuerung in Verbindung steht. 5

10

15

20

25

30

35

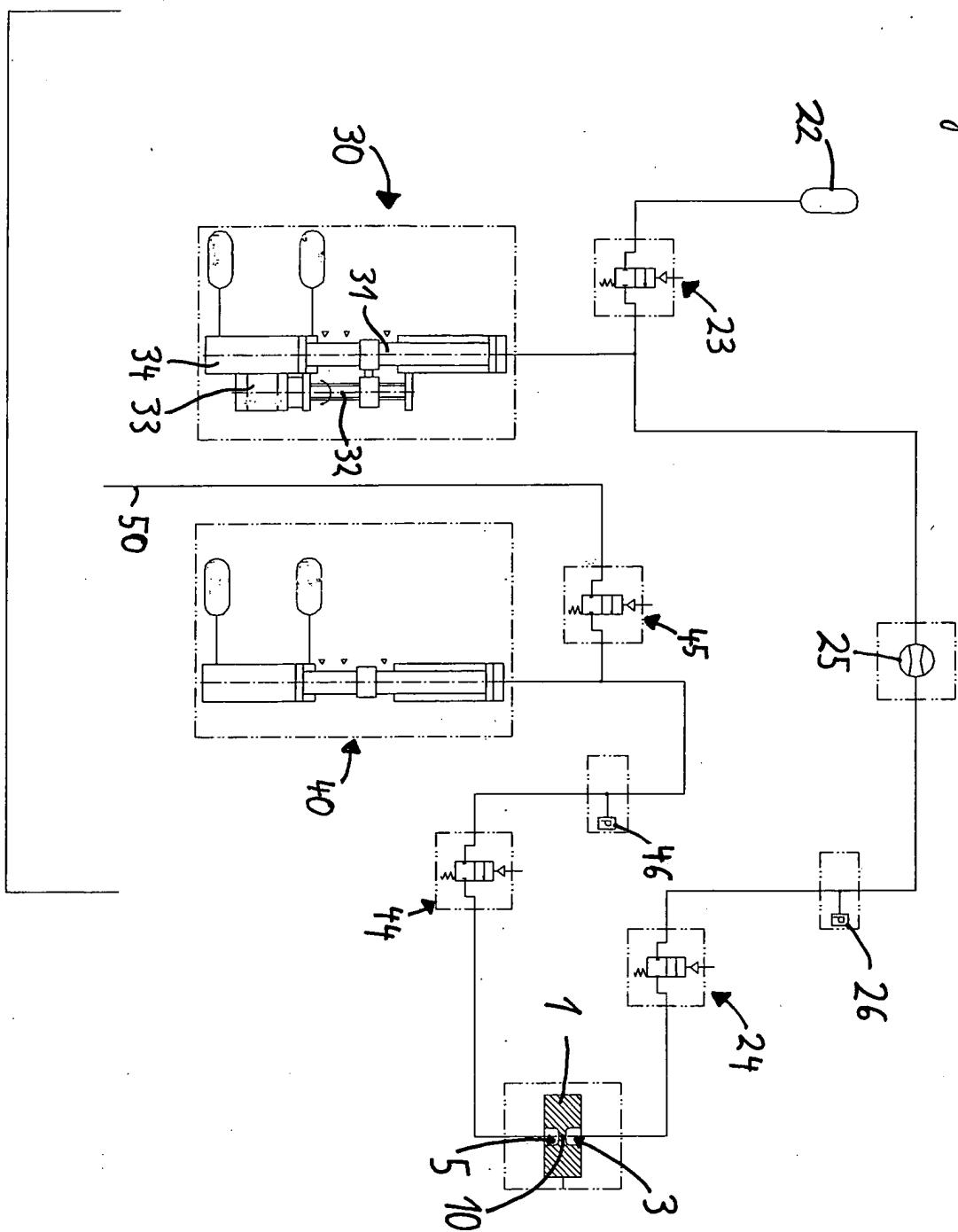
40

45

50

55

Fig. 1





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	WO 03/035325 A (EXTRUDE HONE CORPORATION; WALCH, WILLIAM, L) 1. Mai 2003 (2003-05-01)	9,10	B24B31/116 B24B49/02 F02M61/16
A	* Seite 2, Zeile 10 - Seite 4, Zeile 5 * * Seite 5, Zeile 25 - Seite 8, Zeile 4 * * Seite 9, Zeile 27 - Seite 13, Zeile 6 * * Abbildungen 1,4,5 *	1,3-5,7, 8	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 009, Nr. 007 (M-350), 12. Januar 1985 (1985-01-12) -& JP 59 156661 A (INOUE JAPAX KENKYUSHO KK), 5. September 1984 (1984-09-05)	9	
A	* Zusammenfassung *	1	
D,A	DE 199 41 472 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 15. März 2001 (2001-03-15) * das ganze Dokument *	1,3-5,9, 10	
A	SU 1 833 297 A3 (KORSHUNOV YURIJ YU; ORLOV MIKHAIL P; BUYANOV VLADISLAV V) 7. August 1993 (1993-08-07) * das ganze Dokument * * Zusammenfassung *	1,6	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.7) B24B F02M
A	DE 197 00 304 C1 (SONPLAS GMBH PLANUNG, MONTAGE UND SERVICE VON SONDERMASCHINEN, 94315 S) 23. Juli 1998 (1998-07-23) * Spalte 3, Zeile 65 - Spalte 4, Zeile 65 * * Abbildung 1 *	1-10	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
1	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 23. Juni 2005	Prüfer Eder, R
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldeatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

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

EP 05 00 4133

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

23-06-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 03035325	A	01-05-2003	WO	03035325 A1	01-05-2003	
			CA	2460849 A1	01-05-2003	
			CN	1558811 A	29-12-2004	
			EP	1438158 A1	21-07-2004	
			JP	2005506210 T	03-03-2005	
			US	2004266320 A1	30-12-2004	
JP 59156661	A	05-09-1984		KEINE		
DE 19941472	A1	15-03-2001	WO	0115859 A1	08-03-2001	
			DE	50006321 D1	09-06-2004	
			EP	1124665 A1	22-08-2001	
			JP	2003508236 T	04-03-2003	
			US	6575815 B1	10-06-2003	
SU 1833297	A3	07-08-1993		KEINE		
DE 19700304	C1	23-07-1998	DE	19758660 B4	22-01-2004	