

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **89107753.9**

51 Int. Cl.4: **B24B 1/04**

22 Anmeldetag: **28.04.89**

30 Priorität: **03.05.88 DE 8805832 U**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.11.89 Patentblatt 89/45

64 Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI

71 Anmelder: **MAFELL-ULTRASONICS GMBH**
KERAMIK-EROSION

D-7238 Oberndorf a.N(DE)

72 Erfinder: **Krauss, Ernst**
Suppengasse 15
D-7238 Oberndorf-Aistaig(DE)
Erfinder: **Haas, Rüdiger**
Ob der Au 16
D-7239 Fluorn-Winzeln(DE)
Erfinder: **Schatz, Helmut**
Braunhaldenstrasse 22
D-7242 Dornhan(DE)

74 Vertreter: **Schmid, Berthold et al**
Patentanwälte Dipl.-Ing. B. Schmid Dr. Ing. G.
Birn Falbenhennenstrasse 17
D-7000 Stuttgart 1(DE)

54 **Vorrichtung zur Bearbeitung von sehr hartem Werkstoff mittels eines Bearbeitungswerkzeugs und Verfahren hierzu.**

57 Um einen ultraharten Werkstoff (5) oder ein aus diesem bestehendes Werkstück mit Hilfe einer Suspension od. dgl. beschleunigt bearbeiten zu können, wird das Bearbeitungswerkzeug (4) sowohl als Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug als auch in der Art eines Läppdorns od. dgl. ausgenutzt, d.h. sowohl in axialer Richtung mit Ultraschall bewegt als auch in hohe Drehung versetzt. Bei den üblichen Querschnitten eines Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs kommen Drehzahlen in der Größenordnung von viertausend bis etwa achttausend Umdrehungen pro Minute in Frage, wobei auch etwa größere oder kleinere Werte geeignet sein können. Die Vorrichtung zur Bearbeitung des Werkstoffs ist aufgrund zweier getrennt ein- und ausschaltbarer Antriebe in der Lage, das Bearbeitungswerkzeug nur im Ultraschallbetrieb oder nur als Rotationswerkzeug zu benutzen oder beide Benutzungsarten gleichzeitig einzusetzen. Im übrigen kann man mit dieser Vorrichtung ein Werk-

stück, beispielsweise in herkömmlicher Weise, schleifen, wobei es nicht unbedingt einer Abnahme des Ultraschallwandlers (17) bedarf. Wenn man nämlich in die Werkzeugaufnahme (18) einen Schleifdorn einsetzt, der aus festem Korn besteht oder beispielsweise mit Diamanten besetzt ist, so kann man bei ausgeschaltetem Ultraschall-Antrieb wie mit einer herkömmlichen Schleifmaschine arbeiten.

EP 0 340 661 A2

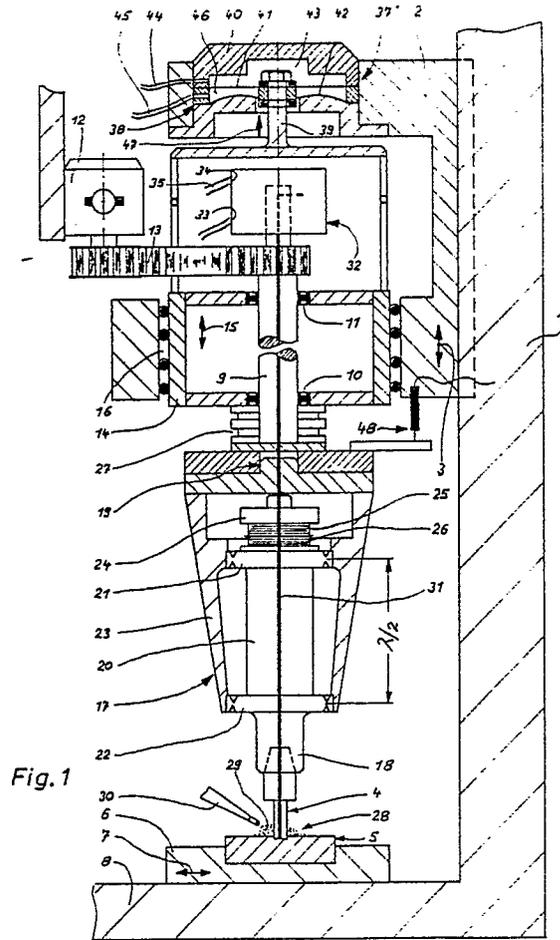


Fig. 1

Vorrichtung zur Bearbeitung von sehr hartem Werkstoff mittels eines Bearbeitungswerkzeugs und Verfahren hierzu

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Bearbeitung von sehr hartem Werkstoff mittels eines Bearbeitungswerkzeugs und in einem fließfähigen Medium enthaltenem losem Korn, wobei das Bearbeitungswerkzeug in einer Werkzeugaufnahme einer rotierend antreibbaren Spindel gehalten ist. Eine derartige Vorrichtung benutzt man beispielsweise, um aus dem Werkstoff ein Werkstück herzustellen oder ein aus dem Werkstoff anderweitig gefertigtes Werkstück weiterzubearbeiten. Während die erfindungsgemäße Vorrichtung vor allen Dingen zur Bearbeitung von sehr hartem, vielfach als Ultrahartwerkstoff bezeichnetem Werkstoff oder hieraus hergestellten Werkstücken vorgesehen ist, muß es sich bei der vorbekannten Vorrichtung nicht in jedem Anwendungsfall um extrem hartes Material handeln. Bei dem mit der Vorrichtung des Standes der Technik durchgeführten Bearbeitung handelt es sich beispielsweise um das Läppen. Das Bearbeitungswerkzeug ist in diesem Falle ein Läppdorn. Zwischen dessen rotierender Oberfläche und dem Werkstoff oder Werkstück - nachfolgend wird der Einfachheit halber lediglich noch von Werkstoff gesprochen, ohne daß dies einschränkend verstanden werden darf - befindet sich eine Läpppaste oder Läppsuspension, die aus dem fließfähigen Medium und darin eingelagertem, losem Korn besteht. Jedes einzelne lose Korn bearbeitet aufgrund der ihm vom Bearbeitungswerkzeug aufgezwungenen Relativbewegung zum Werkstück dessen Oberfläche an der betreffenden Stelle. Insgesamt erfolgt eine sehr feine Bearbeitung durch das lose Korn insgesamt. Man erhält eine sehr glatte Oberfläche, jedoch pro Zeiteinheit einen nur verhältnismäßig geringen Abtrag des Werkstoffs.

Damit vergleichbar ist auch eine Vorrichtung zum Schleifen mit losem Korn, die zumindest dem Prinzip nach gleich oder ähnlich arbeitet.

Das Bearbeitungsergebnis bei einer derartigen Vorrichtung ist zwar in aller Regel sehr gut, jedoch dann besonders zeitaufwendig, wenn relativ viel Material abgetragen werden soll und der Werkstoff besonders hart ist.

Die Aufgabe der Erfindung besteht infolgedessen darin, eine Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art so weiterzubilden, daß die Bearbeitungszeit ohne Beeinträchtigung der Qualität der Bearbeitung reduziert werden kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß die Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 entsprechend dem kennzeichnenden Teil dieses Anspruchs ausgebildet ist. Mit dieser Vorrichtung kann der herkömmlichen Bearbeitung durch die Suspension mit dem

losem Korn eine Bearbeitung mittels Ultraschall überlagert werden, wodurch sich die Bearbeitungsgeschwindigkeit erhöht und somit beispielsweise eine Bohrung, ein Durchbruch od. dgl. in einem plattenförmigen Werkstoff oder Teil eines Werkstücks erheblich schneller erstellt oder vergrößert werden kann. Theoretisch ist es möglich, sowohl der herkömmlichen Bearbeitung im Sinne eines Läpp- oder Schleifvorgangs die für sich allein bekannte Ultraschallbearbeitung zu überlagern, oder aber nur eine dieser beiden Bearbeitungsarten anzuwenden. Sofern es werkstoffgerecht ist und im Sinne der Aufgabenstellung eine Beschleunigung der Bearbeitung verlangt wird, findet eine überlagerte Bearbeitung aus beiden Arten statt.

Es ist zwar bereits bekannt, ein Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug in Drehung zu versetzen, jedoch geschieht dies lediglich zum Zwecke einer exakt rotationssymmetrischen Ausbildung der zu erstellenden Bohrung. Man kann hierdurch eine unrunde Form des Bearbeitungswerkzeugs kompensieren. Die Rotationsbewegung bzw. die Umfangsgeschwindigkeit am Außenumfang des arbeitenden Endes des Bearbeitungswerkzeugs ist verhältnismäßig gering, so daß das lose Korn hinsichtlich der Bearbeitungsgeschwindigkeit nichts bewirken kann und die Vorrichtung gleich lange braucht wie eine vergleichbare Vorrichtung mit nicht drehbarem Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug. Die Vorrichtung ist dem Prinzip nach eine reine Ultraschall-Bearbeitungsvorrichtung für sehr harte Werkstoffe oder Werkstücke. Die Drehzahl der Ausführungsform mit in Drehrichtung antreibbarem Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug liegt in der Größenordnung von etwa 25 bis 50 Umdrehungen pro Minute.

Wenn die Suspension bzw. das in dieser Suspension enthaltene lose Korn eine aus der Drehbewegung des Bearbeitungswerkzeugs resultierende Bearbeitung vornehmen können soll, so muß die Drehzahl der Spindel eine Größenordnung erreichen, wie man sie bei Schleifmaschinen, Läppmaschinen oder ähnlicher, mit einer solchen Suspension arbeitenden Maschinen kennt. Bezogen auf die bei der Ultraschall-Bearbeitung üblicherweise verwendeten Werkzeugquerschnitte - gemessen am freien Werkzeugende -, sind Spindeldrehzahlen in der Größenordnung von 5.000 bis 8.000 Umdrehungen pro Minute erforderlich, wenn der Ultraschall-Bearbeitung eine wirksame Rotationsbearbeitung überlagert werden soll. Denkbar sind auch noch höhere Drehzahlen, wie beispielsweise 10.000 U/min. Bei größeren Werkzeugquerschnitten kann auch eine geringere Drehzahl von beispielsweise 2.000 oder 3.000 U/min. für die zusätz-

liche "Rotationsbearbeitung" ausreichen. Maßgeblich ist die Umfangsgeschwindigkeit, wobei der eine Rotationsbearbeitung ermöglichende Wert materialabhängig ist. Dies legt gewissermaßen den unteren Grenzwert fest, während ein oberer Grenzwert für die Maximaldrehzahl der Spindel eher von maschinenbaulichen und/oder kostenmäßigen Überlegungen abhängt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung gestattet erstmalig die Überlagerung einer Ultraschall-Bearbeitung mit einer dem Schleifen oder Läppen ähnlichen Bearbeitung unter Ausnutzung des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs sowie der bei der Ultraschall-Bearbeitung ohnehin vorhandenen Einrichtung für die Zufuhr und Abfuhr einer Schleifmittelsuspension od. dgl.

Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß der Ultraschallwandler abnehmbar gehalten ist. Man kann ihn nicht nur zu Reparaturzwecken oder zum Austausch gegen eine andere Ausführungsform abnehmen, vielmehr kann man diese Vorrichtung im Sonderfall auch ohne den Ultraschallwandler betreiben, wenn man den Ultraschallwandler durch eine entsprechende Werkzeugaufnahme ersetzt, in welche man ein für die Rotationsbearbeitung brauchbares Werkzeug einsetzen kann oder wenn sich an der Trennstelle eine gegebenenfalls zusätzliche Werkzeugaufnahme befindet. In gleicher Weise kann man, wie bereits erläutert, natürlich auch den Drehantrieb stillsetzen und die Vorrichtung nur wie eine Ultraschall-Bearbeitungsvorrichtung ohne Rotation des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs benutzen. Nicht zuletzt bietet sich noch die Möglichkeit an, in die anstelle des Ultraschall-Wandlers montierte oder nach dessen Abnahme zugängliche Werkzeugaufnahme ein Bearbeitungswerkzeug mit festem Korn, also beispielsweise einen Schleifer, einzusetzen und ohne oder auch mit Suspension im Rotationsbetrieb zu arbeiten. Anstelle der Suspension kann auch eine andere Flüssigkeit, beispielsweise Kühlfüssigkeit, treten, wenn eine entsprechende Zuführungsmöglichkeit geschaffen wird oder vorhanden ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung kennzeichnet sich dadurch, daß der Schwinger des Ultraschallwandlers über zwei in Achsrichtung versetzte Lager in einem insbesondere hülsenartigen Ultraschallwandler-Gehäuse gehalten ist, wobei der Abstand der Lager bei mitschwingendem Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug etwa $\lambda/2$ beträgt und den Lagern benachbarte Schwingungsknoten zugeordnet sind. Hierdurch ist gewährleistet, daß dem freien Ende des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs ein Schwingungsbauch zugeordnet ist und somit die maximal mögliche Leistung auf das Werkstück übertragen werden kann. Ein weiterer Schwingungsbauch ist dem freien Ende der hinteren Endmasse zugeordnet. Von dort bis zum freien

Ende des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs liegt eine gesamte Wellenlänge λ des schwingungsfähigen Systems vor.

Eine weitere Variante der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen dem vom Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug entfernten Lager des Schwingers und einer inneren Endmasse ein Ultraschall-Geberpaar befindet und die Spindel mit einem rotatorischen Stromabnehmer hierfür ausgestattet ist. Beim Geberpaar handelt es sich in bekannter Weise um Piezogeber, die elektrisch erregt werden. Das Geberpaar und die hintere Endmasse werden beispielsweise mit Hilfe einer Schraube fest am Schwinger fixiert. Der rotatorische Stromabnehmer dient in diesem Falle zur Stromzuführung für das Ultraschall-Geberpaar, und er befindet sich im Falle eines abnehmbaren Ultraschallwandlers an dem an der Vorrichtung verbleibenden Teil der Spindel. Bevorzugterweise ist nur ein einziges Ultraschall-Geberpaar vorgesehen.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung ist durch eine zweifach gelagerte Spindel gekennzeichnet, wobei sich die Spindellager in Gebrauchslage der Vorrichtung oberhalb des Ultraschallwandlers befinden. An ihnen ist der auch im Falle eines abnehmbaren Ultraschallwandlers verbleibende Teil der Spindel gelagert. Es muß sich um hochpräzise Lager handeln, weil einerseits die Drehzahl sehr hoch und andererseits der Ultraschallwandler gewissermaßen fliegend gelagert ist.

Das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug, der Ultraschallwandler und die Spindel bzw. der über dem Ultraschallwandler befindliche Spindelteil sind in sehr vorteilhafter Weise mit einem gemeinsamen Absaugkanal für das fließfähige Medium mit dem losen Korn ausgestattet. Der Bearbeitungsstelle wird das fließfähige Medium mit dem Korn - nachfolgend wird der Einfachheit halber lediglich noch von Suspension geredet, obwohl dies nicht einschränkend gemeint ist - über einen geeigneten Zulauf, vorzugsweise ein Röhrchen, in ausreichender Menge zugeführt. Aufgrund einer Sogwirkung im Bereich der Bearbeitungsstelle wird die Suspension in den Spaltraum zwischen Werkstück und Bearbeitungswerkzeug hineingesaugt und über den vorzugsweise etwa zentrisch mündenden Absaugkanal wegtransportiert. Somit ist jeweils frische und korrekt temperierte Suspension im Bereich der Bearbeitungsstelle. Die abgesaugte Suspension wird in geeigneter und bekannter Weise aufgearbeitet, gereinigt und, soweit erforderlich, hinsichtlich des losen Kornes erneuert.

Zweckmäßigerweise durchsetzt der Kanal das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug, den Ultraschallwandler und zumindest einen wesentlichen Teil der Spindel in axialer Richtung, vorzugsweise zentrisch, wobei eine obere Kanalöffnung mit einem Behälter verbunden ist oder sich innerhalb eines

Behälters befindet. Bei zentrisch verlaufendem Absaugkanal muß dessen oberes Ende in wenigstens einen Querkanal übergehen, falls der Austritt nicht an der Spindelstirnseite vorgesehen oder möglich ist.

Eine Weiterbildung der Erfindung ist durch einen Auffangbehälter am oberen Spindelende mit zumindest einer Abflußöffnung für das aufgefangene Medium gekennzeichnet. Die Abflußöffnung ist beispielsweise mit einem Vorratsbehälter verbunden oder auch nur mit einem Auslaufrohr, über welches die Suspension an eine geeignete Stelle abfließen kann. Zweckmäßigerweise befindet sich das obere Kanalende, insbesondere das obere Spindelende, innerhalb des Auffangbehälters.

Eine weitere Variante der Erfindung kennzeichnet sich durch eine zweite Öffnung des Auffangbehälters, die über eine Leitung, einen Kanal od. dgl. mit der Druckseite einer Spülpumpe verbunden ist. Zum jeweils geeigneten oder auch notwendigen Zeitpunkt wird der Auffangbehälter jeweils gespült. Durch das Spülen wird eine Ansammlung des losen Kornes im Auffangbehälter, insbesondere an dessen Boden und/oder im Bereich des Abflusses, verhindert. Das Spülen wird zweckmäßigerweise mit Suspension vorgenommen, so daß man eine Trennung des Spülmittels und der für die Bearbeitung benötigten Suspension vermeidet.

Aus konstruktiven Gründen ist es besonders vorteilhaft, daß der Absaugkanal, zumindest im Bereich des Ultraschallwandlers, durch ein vorzugsweise zentrisches Röhrchen des letzteren gebildet ist. Es ragt an seinem unteren Ende in die Werkzeugaufnahme hinein und kann dort mit dem im Bearbeitungswerkzeug enthaltenen Teil des Kanals gekuppelt werden. Bei abnehmbarem Ultraschallwandler reicht das Röhrchen bis in den Bereich der Trennstelle, so daß dort in geeigneter Weise eine dichte hydraulische Verbindung mit einem weiterführenden Kanalteil im Innern der Spindel geschaffen werden kann.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Spindel mit einer Vorrichtung zum Gewichtsausgleich verbunden. Über diese kann die Spindel mit sämtlichen daran gehaltenen Teilen, also insbesondere dem Ultraschallwandler und dem Bearbeitungswerkzeug, aber auch den Spindellagern und dem rotatorischen Stromabnehmer entgegen der Schwerkraft belastet werden, so daß das freie Ende des Bearbeitungswerkzeugs zwar auf dem Werkstück aufliegt, auf dieses aber keine Druckkraft ausübt. Dies dient zur Festlegung eines Nullpunkts für den Anpreßdruck des Bearbeitungswerkzeugs am Werkstück. Das Anheben, oder genau gesagt, die Gewichtsentlastung, kann mittels einer pneumatischen, hydraulischen oder magnetischen Hilfskraft erfolgen. Bei unveränderlichem Gewicht kann auch eine Federkraft Anwendung finden

bzw. eine Feder oder Federeinheit die Vorrichtung zum Gewichtsausgleich bilden.

Eine weitere Ausgestaltung kennzeichnet sich dadurch, daß die Vorrichtung zum Gewichtsausgleich zugleich auch eine Vorrichtung zur Anpressung des Bearbeitungswerkzeugs am Werkstück bildet oder sie damit verbunden ist. Insbesondere bei einer pneumatischen oder hydraulischen Hilfskraft bietet sich eine derartige Kombination beider Vorrichtungen an, wobei man mit der einen Vorrichtung gewissermaßen den Nullpunkt festlegt und mit der anderen die erforderliche Anpreßkraft aufbringt. Es kommt bei der Ultraschallbearbeitung vor allen Dingen auf eine stets konstante Anpreßkraft des Bearbeitungswerkzeugs am Werkstoff bzw. Werkstück an, und man erreicht dies mit Hilfe einer entsprechenden Steuerung, welche beispielsweise über einen Wegaufnehmer die Bearbeitungsspindel um den Betrag nachstellt, um welchen das Bearbeitungswerkzeug in das Werkstück eingedrungen ist.

Dementsprechend sieht eine weitere Variante der Erfindung vor, daß eine gemeinsame Vorrichtung zum Gewichtsausgleich und zur Werkzeuganpressung als pneumatische oder hydraulische Vorrichtung ausgebildet ist und einen doppelwirkenden Arbeitszylinder oder zumindest eine in einem doppelwirkenden Gehäuse eingespannte Membrane aufweist, wobei die beidseits des Kolbens des Arbeitszylinders oder beidseits der Membrane gelegenen Räume mit je einer hydraulischen oder pneumatischen Druckquelle verbunden sind. Die erste Druckquelle dient zur Aufgabe des Druckes für den Gewichtsausgleich, wobei sie mit dem unteren Hydraulik- oder Pneumatikraum verbunden ist. Über die zweite Druckquelle gibt man dann den genau regelbaren Anpreßdruck auf. Den Druck für die Gewichtsentlastung kann man rechnerisch festlegen.

Eine Weiterbildung der Erfindung kennzeichnet sich dadurch, daß unterhalb der Membrane der gemeinsamen Vorrichtung eine zusätzliche Membrane eingespannt und der Raum zwischen den Membranen mit einer der Druckquellen verbunden ist. Bei letzterem handelt es sich selbstverständlich um den Kompensationsdruck für den Gewichtsausgleich. Durch die Verwendung zweier, im Abstand hintereinander geschalteter Membranen vermeidet man eine aufwendige Abdichtung des verschiebbaren, nach unten austretenden Elements gegenüber einem ortsfesten Vorrichtungs-Gehäuseteil od. dgl. Im übrigen ist es ohne weiteres möglich und in nicht näher gezeigter Weise beim Ausführungsbeispiel auch vorgesehen, daß die gesamte Einheit einschließlich der gemeinsamen Vorrichtung zum Gewichtsausgleich und zur Werkzeuganpressung insgesamt mittels eines Grobvorschubs hochgehoben oder abgesenkt werden kann, um sie gegen-

über einem Maschinenständer od. dgl. so verfahren zu können, daß Bearbeitungswerkzeuge unterschiedlicher Länge und/oder Werkstoffe oder Werkstücke unterschiedlicher Höhe bearbeitet werden können.

Die Werkzeugaufnahme ist vorteilhafterweise konisch ausgebildet und das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug weist einen passenden Gegenkonus am Befestigungsende auf. Es ist insbesondere vorgesehen, daß das Bearbeitungswerkzeug einen Außenkonus in der Art eines bekannten Morsekegels mit Selbsthemmung aufweist.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, daß der Drehantrieb der Spindel absatzweise einschaltbar ist. Dies ermöglicht ein Drehen des Bearbeitungswerkzeugs um einen vorgesehenen Winkelbetrag, so daß man zum Beispiel bei einem nicht rotationssymmetrischen Querschnitt Durchbrüche erstellen kann, deren Querschnittsform sich aus mehreren Einzelquerschnitten der "Schneide" des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs zusammensetzt. Lediglich beispielsweise sei ein sternförmiger Querschnitt erwähnt, der mittels eines Bearbeitungswerkzeugs erstellt werden kann, das eine oder zwei einander gegenüberliegende Schneiden aufweist, deren Querschnitt der Zackenquerschnittsform des Sterns entspricht.

Eine andere, sehr wichtige Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug und/oder der Werkstoff quer zur Spindelachse verlagerbar ist bzw. sind, wobei die Bewegung vorteilhafterweise senkrecht zur Spindel-längsachse verläuft. Hierdurch ist es möglich, mit einem Werkzeug verhältnismäßig geringen Bearbeitungsquerschnitts relativ große Durchbrüche oder Nuten und dgl. zu erstellen.

Die Erfindung bezieht sich des weiteren auf ein Verfahren zur Bearbeitung eines sehr harten Werkstoffs mit einer Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche. Bislang war es nur möglich, einen harten Werkstoff oder ein daraus gefertigtes Werkstück entweder mit Ultraschall oder durch Schleifen mit festem oder losem Korn zu bearbeiten. Daneben gibt es selbstverständlich noch eine ganze Reihe weiterer, bekannter Bearbeitungsverfahren. Bei sehr hartem bzw. ultrahartem Werkstoff, wie beispielsweise Keramik, Sintermaterial, z. B. Hartmetall und dgl., gibt es bisher nur die Möglichkeit der Ultraschall-Bearbeitung, wenn beispielsweise eine Kontur aus dem vollen Material geschaffen oder in letztere Bohrungen, Durchbrüche od. dgl. eingearbeitet werden sollen.

Um nun auch bei diesen speziellen Materialien, und vor allen Dingen beim Arbeiten ins Volle, die Bearbeitungszeit verkürzen zu können, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß bei einem Verfahren zum Bearbeiten eines sehr harten Werkstoffs mit einer Vorrichtung nach wenigstens einem der

vorhergehenden Ansprüche der fließfähige Träger mit dem darin enthaltenen losen Korn über einen Spaltraum zwischen dem mit hoher Umfangsgeschwindigkeit rotierenden Werkzeug und der Bearbeitungsstelle des Werkstoffs zur geometrischen Achse hin abgesaugt wird, wobei durch das lose Korn Werkstoffteilchen abgetragen werden, und daß der Spaltraum mittels Ultraschall periodisch verengbar ist, wodurch der Durchströmbewegung des losen Kornes das Bearbeiten verstärkende Stoßimpulse überlagert werden. Das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug arbeitet bei diesem Verfahren zugleich in der Art eines Läppdorns oder Schleifwerkzeugs für eine Schleifsuspension. Das lose Korn kann hierbei in doppelter Hinsicht von ein und demselben Werkzeug ausgenutzt werden. Wenn mit letzterem eine Bohrung erstellt wird, so ist deren Durchmesser im Gegensatz zur reinen Ultraschall-Bearbeitung etwa um doppelte Kornstärke größer, weil sich die losen Körner nicht nur unterhalb dem freien Werkzeugende, sondern rings um dessen bearbeitenden Endbereich befinden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt ein Ausführungsbeispiel. Hierbei stellen dar:

Fig. 1: in schematisierter Darstellung einen Verikalschnitt durch den wesentlichsten Teil der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2: einen Ausschnitt im Bereich des Auf-fangsbehälters in vergrößertem Maßstab.

An einem Gestell 1 od. dgl. der Vorrichtung ist ein Vorschubkopf 2 im Sinne des Doppelpfeils 3 auf und ab verstellbar sowie feststellbar. Die Verstellung erfolgt in bekannter Weise, insbesondere mit Hilfe eines Verstellmotors. Sie dient zum groben Ausrichten eines Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs 4 gegenüber dem zu bearbeitenden Werkstoff 5 bzw. einem Werkstück. Dieses wird mittels eines symbolisch gezeichneten Werkstückhalters 6 gegenüber dem Bearbeitungswerkzeug 4 ausgerichtet. In nicht dargestellter Weise kann man auch das Bearbeitungswerkzeug gegenüber dem Werkstoff quer zur Bewegungsrichtung 3 ausrichten. Wird jedoch der Werkstoff gegenüber dem Bearbeitungswerkzeug in die für die Bearbeitung korrekte Position gebracht, so kann man den Werkstückhalter 6 beispielsweise im Sinne des Doppelpfeils 7 oder auch quer dazu auf einem Tisch 8 od. dgl. der Vorrichtung bzw. des Gestells 1 verlagern und anschließend arretieren. Beim zu bearbeitenden Werkstoff handelt es sich bevorzugterweise um sogenannten Ultrahartwerkstoff, also beispielsweise Hartmetall, Keramik oder anderes gesintertes oder auf ähnliche Weise hergestelltes Material, das mit herkömmlichen Bearbeitungswerkzeugen nicht oder nur sehr unzulänglich bearbeitet werden kann. Die Bearbeitungsvorrichtung besitzt eine Spindel 9.

die mittels zweier übereinander angeordneter Lager 10 und 11 gelagert ist. Diese müssen die auftretenden Radial- und Axialkräfte übertragen. Die Spindel kann mittels eines Motors 12, insbesondere Elektromotors, angetrieben werden. Der Antrieb erfolgt beispielsweise über einen Zahnriemen 13, der Zahnräder am Motor sowie der Spindel 9 umschlingt. Die Spindeldrehzahl ist verhältnismäßig hoch und kann in der Größenordnung von 5.000 bis 8.000 U/min. oder noch etwas höher liegen. Soweit erforderlich, kann man die Spindel auch mit etwas geringerer Drehzahl antreiben. Die Spindellager befinden sich in einem Vorrichtungsteil 14, das mit einer Pinole vergleichbar und im Sinne des Doppelpfeils 15 relativ zum Vorschubkopf 2 auf und ab verschiebbar ist. Für eine leichtgängige Lagerung sorgt ein Kugelrollkäfig 16. Die Verschiebebewegung in Richtung des Doppelpfeils 15, die nachstehend noch näher erläutert wird, ist gegenüber der Verschiebebewegung des Vorschubkopfs 2 äußerst minimal. Während der Betriebs wird über die Verschiebebewegung 15, beispielsweise das Werkzeug 4, um den Betrag zugestellt, um welchen es in den Werkstoff 5 eingedrungen ist. Die Zustellung erfolgt kontinuierlich über eine äußerst präzise Regelung, welche einen konstanten Aufdruck des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs auf dem Werkstoff gewährleistet.

Am freien Ende der Spindel 9 befindet sich ein vorzugsweise abnehmbarer Ultraschallwandler 17. Dieser ist mit einer Werkzeugaufnahme 18 für das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug 4 ausgestattet. Sie kann beispielsweise einen Innenkonus aufweisen, in welchen ein Außenkonus am Befestigungsende des Bearbeitungswerkzeugs 4 eingreift, wobei der Keilwinkel so gewählt ist, daß eine Selbsthemmung gewährleistet ist, wie man das beispielsweise von Zerspanungswerkzeugen mit Morsekegel kennt. Denkbar ist aber auch jede andere, insbesondere bei Ultraschall-Bearbeitungsvorrichtungen bekannte Befestigungsart für das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug 4. Aus dem Vorstehenden ergibt sich im übrigen, daß der Ultraschallwandler 17 gewissermaßen den unteren Teil der Spindel 9 bildet. Um einen einwandfreien Rundlauf zu gewährleisten, ist zwischen dem Ultraschallwandler 17 und dem darüber befindlichen Teil der Spindel 9 eine Zentrierung 19 vorgesehen.

Der Ultraschallwandler 17 ist mit einem Schwinger 20 bekannter Bauart ausgestattet. Dieser ist über zwei in Achsrichtung versetzte Lager 21 und 22 in einem vorzugsweise etwa hülenartigen Ultraschallwandler-Gehäuse 23 gelagert. Deren Vertikalabstand ist so gewählt, daß bei eingesetztem Bearbeitungswerkzeug 4 etwa in der Mitte jeder Lagerscheibe ein Schwingungsknoten der Schwingung λ des Schwingungssystems gelegen ist, so daß die Lagerscheiben gegenüber dem Ge-

häuse 23 in Ruhelage sind. Demgegenüber ist dem Bearbeitungsende des Bearbeitungswerkzeugs 4 ein Schwingungsbauch der Schwingung λ zugeordnet, so daß die Schwingungsenergie dort mit ihrem Maximalwert ausgekoppelt wird. Ein um λ hiervon entfernter Schwingungsbauch ist dem inneren Ende der hinteren Endmasse 24 zugeordnet. Unerhalb der letzteren befindet sich ein aus Ultraschall-Gebern 25 und 26 bestehendes Ultraschall-Geberpaar bekannter Bauart, wobei es sich beim Ausführungsbeispiel um sogenannte Piezo-Geber handelt. Sie werden über einen rotatorischen Stromabnehmer 27 mit elektrischem Strom versorgt. Letzterer verbleibt bei abgenommenem Ultraschallwandler 17 am oberen Spindelteil.

Die Ultraschall-Bearbeitung eines Werkstücks oder Werkstücks erfordert das Vorhandensein einer sogenannten Suspension. Diese besteht aus einem fließfähigen Medium 28, welche "loses Korn" 29 mit sich führt. Das "lose Korn" besteht aus einzelnen sehr feinen und scharfkantigen Partikelchen, welche durch die Ultraschallwellen wie winzige Meisel gegen die der freien Endfläche des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs 4 gegenüberliegende Teilfläche des Werkstoffs 5 gestoßen werden und dabei winzige Teilchen aus dem Werkstoff heraushauen. Wenn sich das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug nicht dreht, so entsteht aufgrund des Ultraschall-Antriebs des Bearbeitungswerkzeug 4 im Werkstoff 5 eine Vertiefung, deren Querschnittsform mit dem Querschnitt am Bearbeitungsende des Bearbeitungswerkzeugs 4 identisch ist.

Die Suspension 29 wird der Bearbeitungsstelle über eine symbolisch eingezeichnete Einrichtung 30 zugeführt. Über einen Kanal 31 kann die Suspension abgesaugt werden und dies ist zumindest bei rotierender Spindel 9 auch der Fall. Er durchsetzt das Bearbeitungswerkzeug 4, von dessen Bearbeitungs- zu dessen Befestigungsende und er setzt sich dann im Ultraschallwandler 17 fort. Dort ist er in Form eines dünnen Röhrchens vorhanden. Dieses reicht bis etwa zur Zentrierung 19 oder geringfügig darüber hinaus. Anschließend handelt es sich bevorzugterweise um eine zentrische Bohrung in der Spindel 9, so wie dies auch beim Bearbeitungswerkzeug 4 vorgesehen ist. Am oberen Ende kann der zentrische axiale Kanal in einen radialen übergehen, welcher nach außen mündet. Die angesaugte Suspension gelangt zunächst in einen Auffangbehälter 32 (Fig. 2), aus welchem es über eine, vorzugsweise dem Boden zugeordnete Öffnung 33 abgeführt werden kann.

Der Auffangbehälter 32 besitzt noch eine zweite Öffnung 34, zu welcher eine Leitung 35 führt. Diese ist in nicht näher gezeigter Weise mit der Druckseite einer Spülpumpe verbunden, so daß der Behälter 32 über die Leitung 35, vorzugsweise mit frischer bzw. aufgearbeiteter Suspension gespült

werden kann. Im übrigen wird der Behälter gemäß Fig. 2 mittels einer Sicherung 36 gegen Drehen gesichert.

Wie bereits angedeutet, ist die Spindel 9 mit einer Vorrichtung 37 zum Anpressen des Ultraschallwerkzeugs an den Werkstoff 5 ausgestattet. Diese ist beim Ausführungsbeispiel mit einer Vorrichtung 38 für einen Gewichtsausgleich kombiniert. Bevorzugterweise handelt es sich dabei um eine pneumatisch oder hydraulisch arbeitende Vorrichtung, wobei im Falle des Ausführungsbeispiels der pneumatischen Hilfsenergie der Vorzug gegeben wird.

Die gegenüber dem Vorschubkopf 2 verschiebbaren zusammenhängenden Teile sind beispielsweise über einen Haltedorn 39 mit einem hydraulischen oder pneumatischen Antrieb verbunden. Dabei kann es sich um einen doppeltwirkenden Arbeitszylinder oder wie beim Ausführungsbeispiel um ein Gehäuse 40 mit wenigstens einer Membrane 41 handeln. Um Dichtungen am Durchtritt des Haltedorns 39 durch das Gehäuse 40 zu vermeiden, sieht eine bevorzugte Ausbildung der Vorrichtung vor, daß sich unterhalb der Membrane 41 eine zusätzliche, nach unten hin abgestützte Membrane 42 befindet. Beide Membranen sind innen und außen dicht eingespannt. Der oberhalb der Membrane 41 gelegene Druckraum 43 ist mit einer Druckleitung 44 pneumatisch bzw. hydraulisch verbunden, während eine weitere Druckleitung 45 in den zweiten Druckraum 46 mündet. Weil die zusätzliche Membrane 42 nach unten hin nicht ausweichen kann, bewirkt eine Erhöhung des Druckes im zweiten Druckraum 46 ein Anheben des Haltedorns 39 und aller daran gehaltenen Teile im Sinne des Pfeils 47. Somit kann man über die Leitung 45 das Bearbeitungswerkzeug 4 so weit vom Werkstoff 5 "abheben", daß es diesen zwar gerade noch berührt, aber keine aus dem Gewicht herrührende Druckkraft darauf ausübt. Demnach dient also die Vorrichtung 38 zum Gewichtsausgleich bzw. zur Festlegung eines Nullpunkts für die Anpressung des Bearbeitungswerkzeugs 4 am Werkstoff 5. Wenn die Auflagekraft des Bearbeitungswerkzeugs 4 auf Null einreguliert ist, so kann man einen Weggeber 48 ebenfalls auf Null stellen. Mit seiner Hilfe kann man die Relativbewegung des Bearbeitungswerkzeugs 4 gegenüber dem normalerweise feststehenden Vorschubkopf 2 ermitteln. Diese gibt ein Maß für die Bearbeitungstiefe ab und zugleich auch ein Signal für das notwendige Nachstellen des Bearbeitungswerkzeugs mit Hilfe der Vorrichtung 37. Letztere kann infolgedessen ein konstantes Andrücken des Ultraschall-Bearbeitungswerkzeugs an den Werkstoff unabhängig von der jeweiligen Tiefe der Bearbeitung gewährleisten. Es ist leicht einzusehen, daß man durch eine Erhöhung des Druckes im Druckraum 43 das notwendige

Nachstellen des Bearbeitungswerkzeugs 4 bewirken kann. Hierbei ist zu beachten, daß mit dem Absinken des Bearbeitungswerkzeugs und damit einem Durchbiegen der Membrane 41 nach unten der Druck im Raum 43 im Verhältnis zur Raumvergrößerung abfällt. Durch ständige Kompensation läßt sich dieser Druck konstant halten, was natürlich eine Überwachung des Druckes durch einen geeigneten Druckgeber voraussetzt, der über eine geeignete Steuerung die Zufuhr von Druckmedium über die Leitung 44 bewirkt. Im übrigen ist es wohl selbstverständlich, daß der Ultraschallwandler 17 in bekannter Weise auch einen nicht näher gezeigten Ultraschalltransformator enthält.

Es bleibt noch nachzutragen, daß ein oberes Lager 49 der Spindel 9 mittels einer Scheibe 50 vor einer Beschädigung durch die Suspension geschützt ist und eine weitere Scheibe 51 ein darüber befindliches weiteres oberes Lager 52 in gleicher Weise schützt. Der Abstand der Scheiben vom Auffangbehälter 32 ist in vorteilhafter Weise außerordentlich gering und im Sinne einer Spaltdichtung od. dgl. ausgeführt. Die obere Kanalmündung 53, über welche die angesaugte Suspension in den Auffangbehälter 32 gelangt, befindet sich selbstverständlich zwischen den beiden Scheiben 50 und 51. Im übrigen erfolgt das Ansaugen durch die Erzeugung eines entsprechenden Unterdrucks im Auffangbehälter 32.

Wie vorstehend bereits erläutert wurde, kann mit dem Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug 4 im herkömmlicher Weise gearbeitet werden, wobei man es mit geringer Drehzahl oder auch nur absatzweise um einen bestimmten Winkelgrad drehen kann. Das Drehen mit geringer Drehzahl gewährleistet eine rotationssymmetrische Bohrung auch bei nicht hundertprozentig rundem oder bewußt unrundem Querschnitt des Bearbeitungswerkzeugs am freien Ende. Wenn man jedoch das Bearbeitungswerkzeug mit hoher Drehzahl antreibt, so daß eine im Hinblick auf den zu bearbeitenden Werkstoff ausreichend große Umfangsgeschwindigkeit am Außenumfang des bearbeitenden Endes des Ultraschall-Werkzeugs 4 vorliegt, so wird der normalen Ultraschall-Bearbeitung eine weitere Bearbeitung überlagert, die ebenfalls von der zugeführten Suspension bzw. dem darin enthaltenen losen Korn 29 bewirkt wird und zwar in der Weise, wie man das beim Läppen, Schleifen mit losem Korn oder vergleichbaren mechanischen Bearbeitungsverfahren kennt. Das lose Korn wird vom sich schnell drehenden Bearbeitungswerkzeug in Drehrichtung mitgenommen und es findet damit auch eine Bearbeitung an der Bohrungswandung statt. Infolgedessen wird der Bohrungsdurchmesser um etwa zweifache Korngröße größer als es dem Durchmesser des Bearbeitungswerkzeugs 4 bzw. dessen Flugkreisdurchmesser entspricht. Diese

kombinierte Ultraschall- und Schleif- oder Läppbearbeitung ermöglicht eine wesentliche Beschleunigung bei der Erstellung einer Bohrung. Im übrigen kann man aus dieser Bohrung durchaus auch einen Längsschlitz machen, wenn man eine Relativbewegung zwischen Bearbeitungswerkzeug und Werkstück, beispielsweise im Sinne des Doppelpfeils 7 oder in anderer Querrichtung vorsieht. Bei einer geschlossenen Nut läßt sich so mit einem verhältnismäßig kleinen Bearbeitungswerkzeug ein großer Durchbruch sehr schnell schaffen. Dieser Durchbruch kann im Rahmen der Querverschiebmöglichkeit eine beliebige Form aufweisen. Selbstverständlich wird die Querverschiebung zweckmäßigerweise über eine Steuerung der Maschine bewirkt, wobei der Quervorschub entsprechend den zu berücksichtigenden Parametern wie Werkstoff, Querschnitt des Bearbeitungswerkzeugs sowie Leistung des Drehantriebs und des Ultraschall-Antriebs festzulegen ist.

Ansprüche

1. Vorrichtung zur Bearbeitung von sehr hartem Werkstoff (5) mittels eines Bearbeitungswerkzeugs (4) und in einem fließfähigen Medium (28) enthaltenem losen Korn (29), wobei das Bearbeitungswerkzeug (4) in einer Werkzeugaufnahme (18) einer rotierend antreibbaren Spindel (9) gehalten ist, dadurch gekennzeichnet, daß das freie Spindelende als Ultraschallwandler (17) ausgebildet oder mit einem solchen verbunden ist, wobei sich die Werkzeug-Aufnahme (18) am Ende des Ultraschallwandlers (17) befindet.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallwandler (17) abnehmbar gehalten ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwinger (20) des Ultraschallwandlers (17) über zwei in Achsrichtung versetzte Lager (21, 22) in einem, insbesondere hülsenartigen, Ultraschallwandler-Gehäuse (23) gehalten ist, wobei der Abstand der Lager (21, 22) bei mitschwingendem Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug (4) etwa $\lambda/2$ beträgt und den Lagern (21, 22) benachbarte Schwingungsknoten zugeordnet sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen dem vom Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug (4) entfernten Lager (21) des Schwingers (20) und einer inneren Endmasse (24) ein Ultraschall-Geberpaar (25, 26) befindet und die Spindel (9) mit einem rotatorischen Stromabnehmer (27) hierfür ausgestattet ist.

5. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine zweifach gelagerte Spindel (9), wobei sich die

Spindellager (10, 11) in Gebrauchslage der Vorrichtung oberhalb des Ultraschallwandlers (17) befinden.

6. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug (4), der Ultraschallwandler (17) und die Spindel (9) bzw. der über dem Ultraschallwandler befindliche Teil der Spindel mit einem gemeinsamen Absaugkanal (31) für das fließfähige Medium (28) mit dem losen Korn (29) ausgestattet sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanal (31) das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug (4), den Ultraschall-Wandler (17) und zumindest einen wesentlichen Teil der Spindel (9) in axialer Richtung, vorzugsweise zentrisch, durchsetzt, wobei eine obere Kanalmündung (53) mit einem Behälter (32) verbunden ist oder sich innerhalb eines Behälters befindet.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch einen Auffangbehälter (32) am oberen Spindelende mit zumindest einer Abflußöffnung (33) für das aufgefangene Medium.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch eine zweite Öffnung (34) des Auffangbehälters (32), die über eine Leitung (35), einen Kanal od. dgl. mit der Druckseite einer Spülpumpe verbunden ist.

10. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Absaugkanal (31) zumindest im Bereich des Ultraschallwandlers (17) durch ein vorzugsweise zentrisches Röhrchen des letzteren gebildet ist.

11. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Spindel (9) mit einer Vorrichtung zum Gewichtsausgleich (38) verbunden ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zum Gewichtsausgleich (38) zugleich auch eine Vorrichtung (37) zur Anpressung des Bearbeitungswerkzeugs (4) am Werkstoff (5) bildet oder sie damit verbunden ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine gemeinsame Vorrichtung (37, 38) zum Gewichtsausgleich und zur Werkzeuganpressung als pneumatische oder hydraulische Vorrichtung ausgebildet ist und einen doppelt wirkenden Arbeitszylinder oder zumindest eine in einem doppelt wirkenden Gehäuse (40) eingespannte Membrane (41) aufweist, wobei die beidseits des Kolbens des Arbeitszylinders bzw. beidseits der Membrane (41) gelegene Räume (43 und 46) mit je einer hydraulischen oder pneumatischen Druckquelle verbunden (44, 45) sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß unterhalb der Membrane (41) der gemeinsamen Vorrichtung (37, 38) eine zusätz-

liche Membrane (42) eingespannt und der Raum (46) zwischen den Membranen (41, 42) mit einer der Druckquellen verbunden (45) ist.

15. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugaufnahme (18) konisch ausgebildet ist und das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug (4) einen passenden Gegenkonus am Außenende aufweist.

5

16. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehantrieb (12) der Spindel (9) absatzweise einschaltbar ist.

10

17. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ultraschall-Bearbeitungswerkzeug (4) und/oder der Werkstoff (5) quer zur Spindelachse verlagerbar ist bzw. sind.

15

18. Verfahren zum Bearbeiten eines sehr harten Werkstoffs mit einer Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der fließfähige Träger mit dem darin enthaltenen losen Korn über einen Spaltraum zwischen dem mit hoher Umfangsgeschwindigkeit rotierenden Werkzeug und der Bearbeitungsstelle des Werkstoffs zur geometrischen Achse hin abgesaugt wird, wobei durch das lose Korn Werkstoffteilchen abgetragen werden, und daß der Spaltraum mittels Ultraschall periodisch verengbar ist, wodurch der Durchströmbewegung des losen Kornes das Bearbeiten verstärkende Stoßimpulse überlagert werden.

20

25

30

35

40

45

50

55

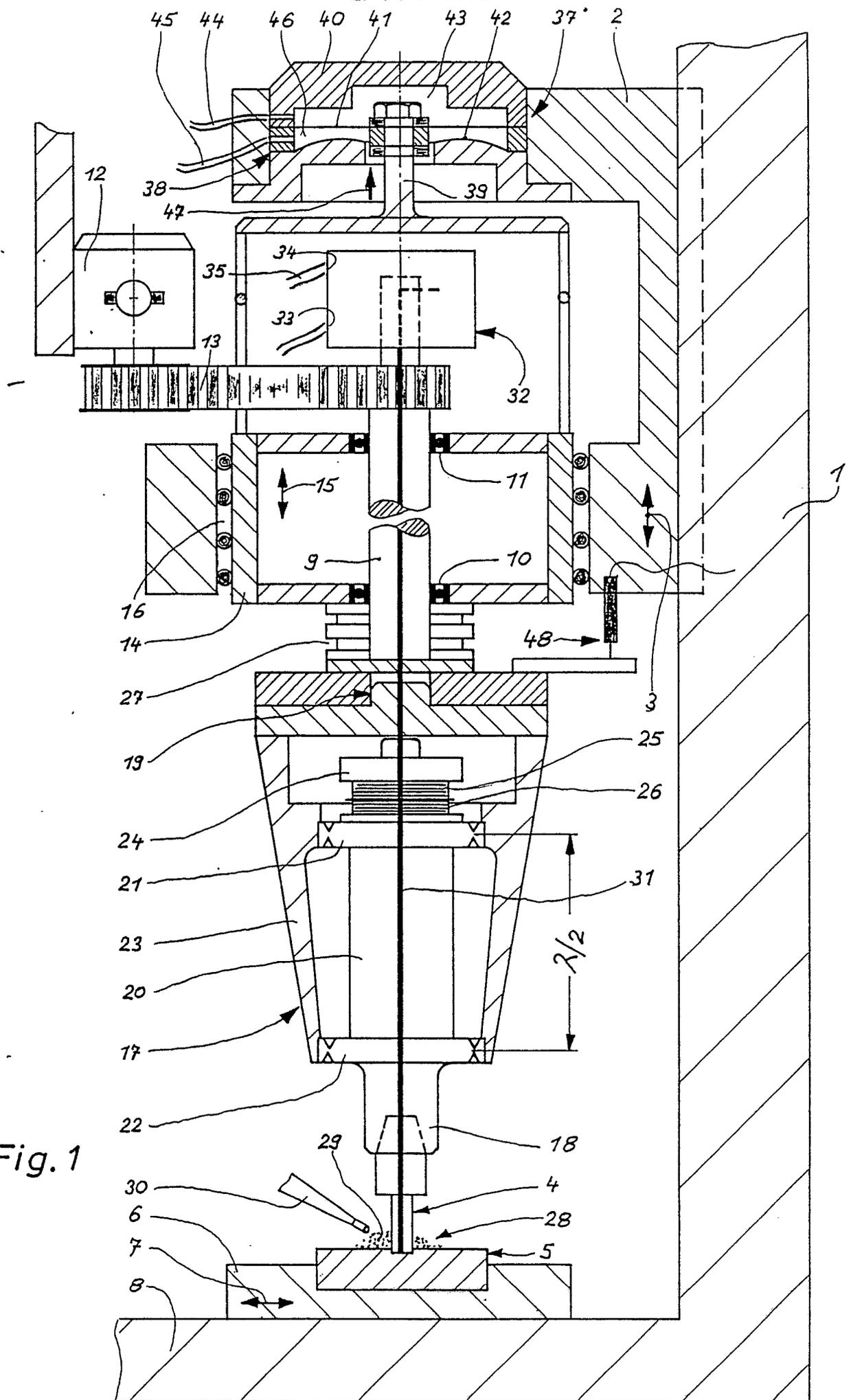


Fig. 1

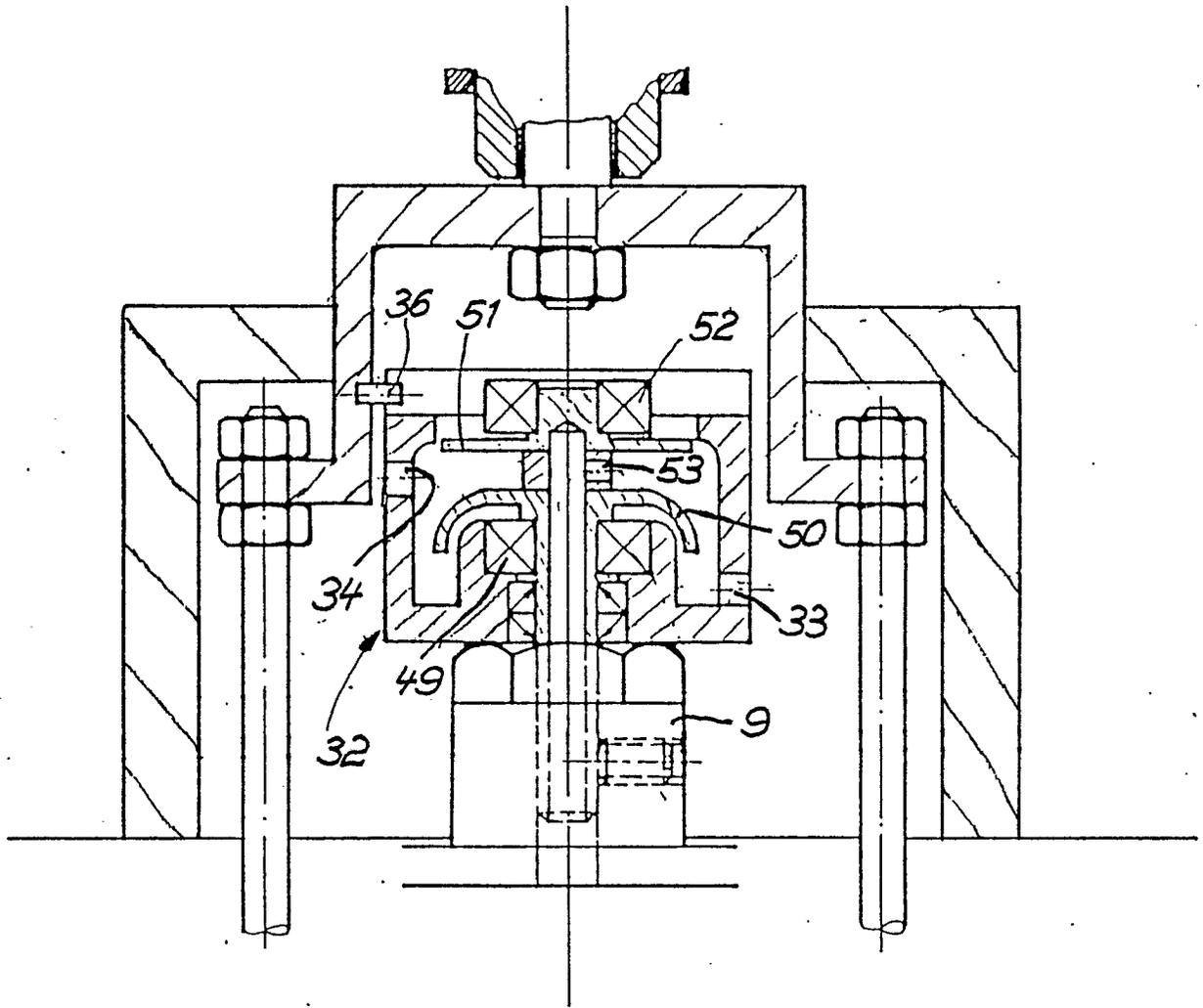


Fig. 2