



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer : **93810666.3**

(51) Int. Cl.⁵ : **B24B 1/04, B06B 1/08, B24B 41/04**

(22) Anmeldetag : **21.09.93**

(30) Priorität : **01.10.92 CH 3067/92**
01.10.92 CH 3068/92

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
06.04.94 Patentblatt 94/14

(84) Benannte Vertragsstaaten :
CH DE FR GB LI

(71) Anmelder : **Bory, Michael**
Schomattenstrasse 40
CH-9630 Wattwil (CH)

(72) Erfinder : **Bory, Michael**
Schomattenstrasse 40
CH-9630 Wattwil (CH)

(74) Vertreter : **Wenger, René et al**
Hepp, Wenger & Ryffel AG Marktgasse 18
CH-9500 Wil (CH)

(54) **Vorrichtung für die Ultraschall-Erosion an einem Werkstück.**

(57) Ein Ultraschall-Werkzeug (13) wird zur Erhöhung der Abtragsleistung in Drehbewegung versetzt. Dazu wird ein magnetostriktiver oder piezoelektrischer Wandler (2) verwendet, der zur Verstärkung der Ausgangsamplitude mit einem Transformator (7) gekoppelt ist. Zur Verringerung der Baulänge sind Wandler und Transformator derart konzentrisch ineinander geschoben, dass sich ihre Baulängen wenigstens teilweise überlappen. Wandler und Transformator bilden ausserdem einen Rotor, der in berührungslosen Lagern gelagert ist. Mit einer derartigen Vorrichtung werden optimale Rundlaufeigenschaften erzielt.

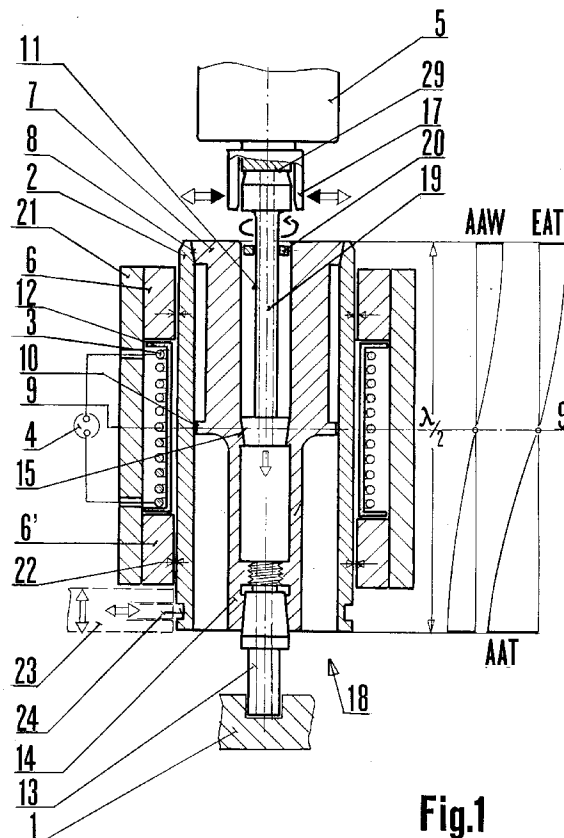


Fig.1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die Ultraschall-Erosion an einem Werkstück gemäss dem Oberbegriff von Anspruch 1. Derartige Vorrichtungen eignen sich namentlich für die Bearbeitung harter und spröder Werkstoffe wie Glas oder Keramik. Die Drehbewegung des Werkzeuges erfolgt zur Erhöhung der Abtragsleistung, wobei das Werkzeug mit einem Schleifkorn, beispielsweise aus Diamant, bestückt ist. Alternativ kann auch mit einem losen Schleifkorn gearbeitet werden.

Die mit den bekannten elektroakustischen Wandlern erreichbare Ultraschall-Amplitude ist für Bearbeitungszwecke zu gering. Daher wird bei den Vorrichtungen ein mechanischer Amplitudenverstärker nachgeschaltet, mit dem brauchbare Werte erreicht werden können. Die physikalischen Grundlagen derartiger Transformatoren sind dem Fachmann bekannt und werden daher nicht näher beschrieben.

Bei den bekannten Vorrichtungen zur Ultraschallerzeugung sind die Transformatoren mit dem Bearbeitungswerkzeug an der letzten Stufe in einer Reihe axial hintereinander an den elektroakustischen Wandler angekoppelt. Bekanntlich kann die Länge der zusammengekoppelten Bauteile nicht beliebig gewählt werden. Damit das ganze Schwingungssystem in Resonanz schwingen kann, ist es vielmehr erforderlich, jedes Bauteil auf die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ der Erregerfrequenz abzustimmen. Bei mehreren Transformatorstufen ergibt dies grosse Baulängen, bei denen die Steifigkeit und damit die massliche Präzision erheblich abnimmt. Bei Werkzeugen, die zusätzlich noch um die eigene Achse gedreht werden, ergeben sich dabei erhebliche Rundlaufprobleme.

Zusätzliche Lagerungsprobleme ergeben sich auch noch dadurch, dass das schwingende System nur in der schwingungsfreien Knotenebene gestützt werden kann. Schliesslich bereiten die bekannten Vorrichtungen auch beim Werkzeugwechsel Probleme, insbesondere wenn der Werkzeugwechsel automatisch erfolgen sollte. Bei einer nicht einwandfreien akustischen Koppelung zwischen Werkzeugaufnahme und Werkzeug treten nämlich Störungen im Arbeitsprozess auf.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, bei welcher bei gleichbleibenden Eigenschaften bezüglich der Transformation der Amplitude die Baulänge verkürzt und die Rundlaufeigenschaft verbessert werden kann. Ausserdem soll der Werkzeugwechsel schneller und einfacher erfolgen können, als dies bei den bekannten Systemen möglich wäre. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit einer Vorrichtung gelöst, welche die Merkmale im Anspruch 1 aufweist.

Durch das Ineinanderschieben der Bauteile mit endseitiger Ankoppelung kann die gesamte Bauhöhe im Idealfall auch bei mehreren Verstärkerstufen auf $\lambda/2$ reduziert werden. Damit wird nicht nur die mechanische Stabilität verbessert, sondern auch die Einspannung des gesamten Systems wird wesentlich erleichtert. Da die Schwingungsknoten der Einzelbauteile ebenfalls auf einer einzigen Ebene angeordnet werden können, eröffnet dies auch die Möglichkeit einer seitlichen Abstützung der Bauteile untereinander in der Knotenebene. Durch die Ausbildung der Bauteile als berührungslos gelagerter Rotor kann das Massenträgheitsmoment und die Unwucht der Werkzeugspindel sehr klein gehalten werden. Als Folge davon sind hohe Drehzahlen möglich. Die Lagerung in den berührungslosen Lagerstellen verursacht nur eine geringe Reibung und sie erlaubt es ausserdem, den Rotor mit den daran befestigten Werkzeugteilen auf einfache Weise zu wechseln.

Bei den Lagerstellen kann es sich um hydrostatische, magnetostatische oder um aerostatische Lager handeln. Berührungslose Lager dieser Art werden auch bei anderen Werkzeugmaschinen eingesetzt und sind dem Fachmann bereits bekannt. Bei der Verwendung hydrostatischer Lager kann gleichzeitig auch das Problem der notwendigen Kühlung des Schwingers optimal gelöst werden.

Der Wandler kann als Hohlwelle ausgebildet sein und der Transformator kann derart konzentrisch in der Hohlwelle gehalten sein, dass die Schwingungsknoten des Wandlers und des Transformators etwa auf der gleichen Ebene liegen. Umgekehrt kann aber auch der Transformator als Hohlwelle ausgebildet sein und der Wandler kann derart in der Hohlwelle gehalten sein, dass die Schwingungsknoten des Wandlers und des Transformators etwa auf der gleichen Ebene liegen. Der Transformator und der Wandler können dabei auf einfache Weise in der Ebene ihres Schwingungsknotens aneinander abgestützt sein.

Erhebliche Vorteile lassen sich erzielen, wenn bei aussenliegendem Wandler und innenliegendem Transformator der Wandler als magnetostriktiver Schwinger ausgebildet ist, der von einer stationären Erregerspule umgeben ist. Die Stromzufuhr zu der stationären Erregerspule ist völlig unproblematisch und erfolgt über feste Leitungen. Dadurch fallen die für die Stromübertragung an drehenden Teilen erforderlichen Schleifringe weg.

Der Wandler kann aber auch als piezoelektrischer Schwinger ausgebildet sein, der in der Knotenebene Schleifringe für die Stromzuführung trägt.

Wenn eine Antriebswelle etwa in der gemeinsamen Knotenebene am Wandler oder am Transformator angreift, können relativ einfache Kupplungen eingesetzt werden, bei denen die Längsschwingung nicht berücksichtigt werden muss. So kann der Transformator beispielsweise als Hohlwelle ausgebildet sein, wobei das Kupplungsmittel am Ende einer Antriebswelle angeordnet ist, welche in den Transformator hineinragt. Auf gleiche Weise kann selbstverständlich auch der Wandler als Hohlwelle ausgebildet sein. Das Kupplungsmittel kann einen Permanentmagneten aufweisen, welcher die Antriebswelle drehfest mit dem Wandler bzw. mit dem

Transformator verbindet. Zur Uebertragung der Drehbewegung von der Antriebsvorrichtung auf die Werkzeugspindel bzw. auf den Rotor wären selbstverständlich auch andere Kupplungsmittel denkbar, wie z.B. berührungslose Magnetkupplungen, Flüssigkeitskupplungen oder dergleichen. Auch eine Uebertragung der Drehbewegung mittels geeigneter Getriebe wäre denkbar.

5 Der Rotor ist vorzugsweise so gelagert, dass er werkzeugseitig in axialer Richtung aus den Lagerstellen herausziehbar ist. Dies hat den Vorteil, dass nicht mehr einzelne Werkzeuge ausgewechselt werden müssen, da jeder Werkzeugtyp mit einem eigenen Rotor ausgerüstet werden kann. Damit erübrigt sich das Problem der heiklen, akustischen Koppelung zwischen dem Werkzeug und der Werkzeughalterung.

Weitere Einzelmerkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung verschiedener Ausführungsbeispiele und aus den Zeichnungen. Es zeigen:

- 10 Figur 1 einen magnetostriktiven Schwinger mit aussenliegendem Wandler und innenliegendem Transformator,
 Figur 2 einen piezoelektrischen Schwinger mit aussenliegendem Wandler und innenliegendem Transformator, und
 15 Figur 3 einen piezoelektrischen Schwinger mit aussenliegendem Transformator und innenliegendem Wandler.

Die Bearbeitungsvorrichtung gemäss Figur 1 besteht aus einem Gehäuse 21, in welchem auf einem Wicklungsträger 12 eine Erregerspule 3 angeordnet ist. Die Erregerspule ist mit einem Hochfrequenzgenerator 4 verbunden. Ein rohrförmiger Wandler 2 ist im Gehäuse 21 an den Lagerstellen 6 und 6' gelagert.

20 Diese Lagerstellen sind hier nur schematisch dargestellt. Es handelt sich dabei um Flüssigkeitslager, Magnetlager oder Luftlager, welche den Wandler 2 derart drehbeweglich im Gehäuse 21 und innerhalb der Erregerspule 3 halten, dass gegenüber den stationären Bauteilen ein Ringspalt 22 verbleibt.

Der rohrförmige Wandler 2 besteht aus einem magnetostriktiven Werkstoff, beispielsweise aus Nickel. Er bildet zusammen mit der Erregerspule 3 einen magnetostriktiven Schwinger mit der Knotenebene 9, der an seinen beiden Enden, wie im Diagramm rechts dargestellt, mit einer bestimmten Amplitude AAW schwingt.

25 Zur Amplitudenverstärkung ist der Wandler 2 an einem Ende an einer Koppelungsstelle 8 mit einem Transformator 7 gekoppelt, der als mechanischer Schwingungstransformator wirkt. Zu diesem Zweck ist der Materialquerschnitt am werkzeugseitigen Ende kleiner, als an der Koppelungsstelle 8. Die Eingangsamplitude EAT am oberen Ende des Transformators 7 verstärkt sich infolge der Querschnittsreduktion bis zur Ausgangsamplitude AAT am werkzeugseitigen Ende des Transformators. Am werkzeugseitigen Ende ist eine Werkzeughalterung 14 vorgesehen, welche beispielsweise ein diamantbestücktes Werkzeug 13 aufnehmen kann. Alternativ könnte aber auch das werkzeugseitige Ende des Transformators 7 selbst unmittelbar als Werkzeug ausgebildet sein. Mit Hilfe des Werkzeugs 13 kann ein Werkstück 1 aus hartem Material beispielsweise mit einer Bohrung versehen werden.

35 Der Transformator 7 ist selber rohrförmig ausgebildet. Im Bereich seiner Knotenebene 9 erfolgt eine feste oder lösbare Verbindung 15 mit einer Antriebswelle 11, welche in den Transformator hineinragt. Die Antriebswelle ist mit einem durchgehenden Kanal 19 versehen, durch welchen eine Spülflüssigkeit zum Werkzeug 13 gepumpt werden kann.

Die Antriebswelle 11 ist mit einer Antriebsvorrichtung 5 über eine Kupplung 17 lösbar verbunden. Eine Zentrierstütze 20 stützt die Antriebswelle 11 beim Rotorwechsel. Die Antriebsvorrichtung 5 ist vorzugsweise ein Elektromotor.

Ersichtlicherweise bilden der Wandler 2 und der Transformator 7 insgesamt einen Rotor 18, der als Werkzeugspindel dient. Auf der gemeinsamen Knotenebene 9 erfolgt einerseits die Abstützung 10 zwischen dem Wandler 2 und dem Transformator 7 und andererseits die Ankoppelung der Antriebswelle 11. Auf diese Weise wird ein bezüglich seiner Rundlaufeigenschaften sehr vorteilhaftes System erreicht, wobei der Rotor leicht aus dem Gehäuse 21 entfernt werden kann.

Am werkzeugseitigen Ende ist der Rotor 18 mit einer umlaufenden Nut 24 versehen. An dieser Nut kann ein Werkzeugwechsler 23 einer automatischen Wechsellvorrichtung den Rotor ergreifen und aus den Lagerstellen 6, 6' herausziehen. Dadurch werden nicht mehr einzelne Werkzeuge ausgewechselt, sondern ganze Werkzeugeinheiten, die bereits einen Bestandteil des elektroakustischen Wandlers bilden.

50 Beim Ausführungsbeispiel gemäss Figur 2 ist der Wandler 2 als piezoelektrischer Schwinger ausgebildet, der durch die beiden piezoelektrischen Scheiben 25, 25' angeregt wird. Die Besonderheit dieses Wandlers besteht dabei darin, dass die um die Knotenebene schwingenden Massen nicht wie üblich durch die piezoelektrischen Scheiben getrennt sind, sondern einstückig ausgebildet sind. Die elastische Verbindung zwischen den beiden Massen wird durch die relativ dünnwandige Partie des Wandlers im Bereich der Knotenebene gebildet. Die Vorspannung der piezoelektrischen Scheiben erfolgt durch eine Ringmutter 26. Diese Ausführung des Wandlers erlaubt die berührungslose Lagerung in den Lagerstellen 6 und 6'. Ueber die Schleifringe 27 und 27', welche etwa in der Knotenebene 9 liegen, erfolgt die Stromzufuhr zu den piezoelektrischen Scheiben 25

und 25'. Um die Ausgangsamplitude AAW des Wandlers 2 zu erhöhen ist am oberen Ende an der Koppelungsstelle 8 wiederum ein Transformator 7 angekoppelt. Der innenliegende Transformator schwingt dadurch am werkzeugseitigen Ende mit der Ausgangsamplitude AAT. Das Werkzeug 13 ist mittels der Werkzeughalterung 14 am Transformator befestigt. Der Transformator ist zur Erhöhung der mechanischen Steifigkeit in der Knotenebene 9 über die Abstützung 10 an den piezoelektrischen Scheiben abgestützt, welche wiederum am Wandler mittels Isoliering 28 aufliegen.

Der Drehantrieb des gesamten Rotors 18 erfolgt durch die Antriebswelle 11, analog zum Ausführungsbeispiel gemäss Figur 1. Die lösbare Kupplung 17 überträgt das Antriebsdrehmoment, wobei durch eine Anschlagfläche 29 die genaue axiale Position des Rotors nach einem Werkzeugwechsel gesichert wird. Die Kupplung 17 stellt auch die Kühlmittelverbindung zu einer hier nicht dargestellten Kühlmittelquelle für die Werkzeugkühlung her. Die Zentrierstütze 20 sichert die Koaxialität der Antriebswelle 11 während einer Wechseloperation. Der Wechsel des gesamten Rotors 18 erfolgt gleich wie beim Ausführungsbeispiel gemäss Figur 1.

Beim Ausführungsbeispiel gemäss Figur 3 ist der Wandler 2 ebenfalls als piezoelektrischer Schwinger ausgebildet. Im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel gemäss Figur 2 ist hier jedoch der Wandler 2 vom Transformator 7 umgeben. Notwendigerweise muss hier die Stromzufuhr zu den Piezoscheiben 25 und 25' über die Schleifringe 27, 27' durch den Transformator 7 hindurch erfolgen. Der piezoelektrische Wandler 2 ist von konventioneller Bauart, d.h. die beiden Massen auf beiden Seiten der Piezoscheiben sind völlig voneinander getrennt und nur über die Hohlsschraube 26 miteinander verbunden.

Die Amplitudenverstärkung von der Eingangsamplitude EAT zur Ausgangsamplitude AAT erfolgt auf gleiche Weise, wobei allerdings das Werkzeug 13 bzw. die Werkzeughalterung 14 eine etwas unterschiedliche Konfiguration haben müssen. Dagegen erfolgt der Rotorwechsel gleich wie bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen. Ebenfalls identisch ist die Verbindung des Rotors 18 mit der Antriebsvorrichtung 5.

Selbstverständlich sind weitere Ausführungsbeispiele denkbar, welche nach dem erfindungsgemässen Prinzip aufgebaut sind. So wäre beispielsweise auch ein magnetostraktiv arbeitender Rotor denkbar, bei welchem der Transformator aussen und der Wandler innen angeordnet ist. Zur weiteren Verstärkung der Ausgangsamplitude könnte neben einer ersten Transformatorstufe noch eine zweite Transformatorstufe angekoppelt werden. Das Ausführungsbeispiel gemäss Figur 1 eignet sich besonders vorteilhaft für hohe Drehzahlen, da keine Schleifringe erforderlich sind. Die Ausführungsbeispiele gemäss den Figuren 2 und 3 haben dank der Piezotechnik einen etwas höheren Wirkungsgrad, eignen sich jedoch eher für tiefere Drehzahlen. Beim Ausführungsbeispiel gemäss Figur 3 ist die Anwendung von Werkzeugen mit grösserem Durchmesser, insbesondere kreisringförmige Werkzeuge, problemlos möglich.

Patentansprüche

1. Vorrichtung für die Ultraschall-Erosion an einem Werkstück (1) mit einem elektroakustischen Wandler (2) zum Erzeugen von Ultraschall-Schwingungen, mit wenigstens einem auf einer Seite des Wandlers angekoppelten Transformator (7) zur mechanischen Transformation der Amplitude des Wandlers und mit einer drehantreibbaren Werkzeugspindel mit einem Werkzeug (13), dadurch gekennzeichnet, dass entweder der Wandler (2) oder der Transformator (7) als Hohlkörper ausgebildet ist und dass der Wandler und der Transformator derart ineinandergeschoben sind, dass sich ihre Baulängen wenigstens teilweise überlappen, wobei der Wandler und der Transformator einen die Werkzeugspindel darstellenden Rotor (18) bilden, der in berührungslosen Lagerstellen (6, 6') gelagert ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerstellen (6, 6') hydrostatische Lager sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerstellen (6, 6') magnetostatische Lager sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerstellen (6, 6') aerostatische Lager sind.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Wandler (2) als Hohlwelle ausgebildet ist und dass der Transformator (7) derart konzentrisch in der Hohlwelle gehalten ist, dass die Schwingungsknoten des Wandlers und des Transformators etwa auf der gleichen Ebene liegen.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator (7) als

Hohlwelle ausgebildet ist und dass der Wandler (2) derart in der Hohlwelle gehalten ist, dass die Schwingungsknoten des Wandlers und des Transformators etwa auf der gleichen Ebene liegen.

- 5 7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator (7) und der Wandler (2) in der Ebene (9) ihres Schwingungsknotens aneinander abgestützt sind.
8. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Wandler (2) als magnetostriktiver Schwinger ausgebildet ist, der von einer stationären Erregerspule (3) umgeben ist.
- 10 9. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Wandler (2) als piezoelektrischer Schwinger ausgebildet ist, der in der Knotenebene Schleifringe (27, 27') für die Stromzuführung trägt.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Antriebswelle (11) etwa in der gemeinsamen Knotenebene (9) am Wandler (2) oder am Transformator (7) angreift und eine lösbare Verbindung zu einer Antriebsvorrichtung (5) herstellt.
- 15 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebswelle (11) als Hohlwelle für die Zufuhr eines Kühlmittels zum Werkzeug (13) ausgebildet ist.
- 20 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (18) werkzeugseitig in axialer Richtung aus den Lagerstellen (6, 6') herausziehbar ist.

25

30

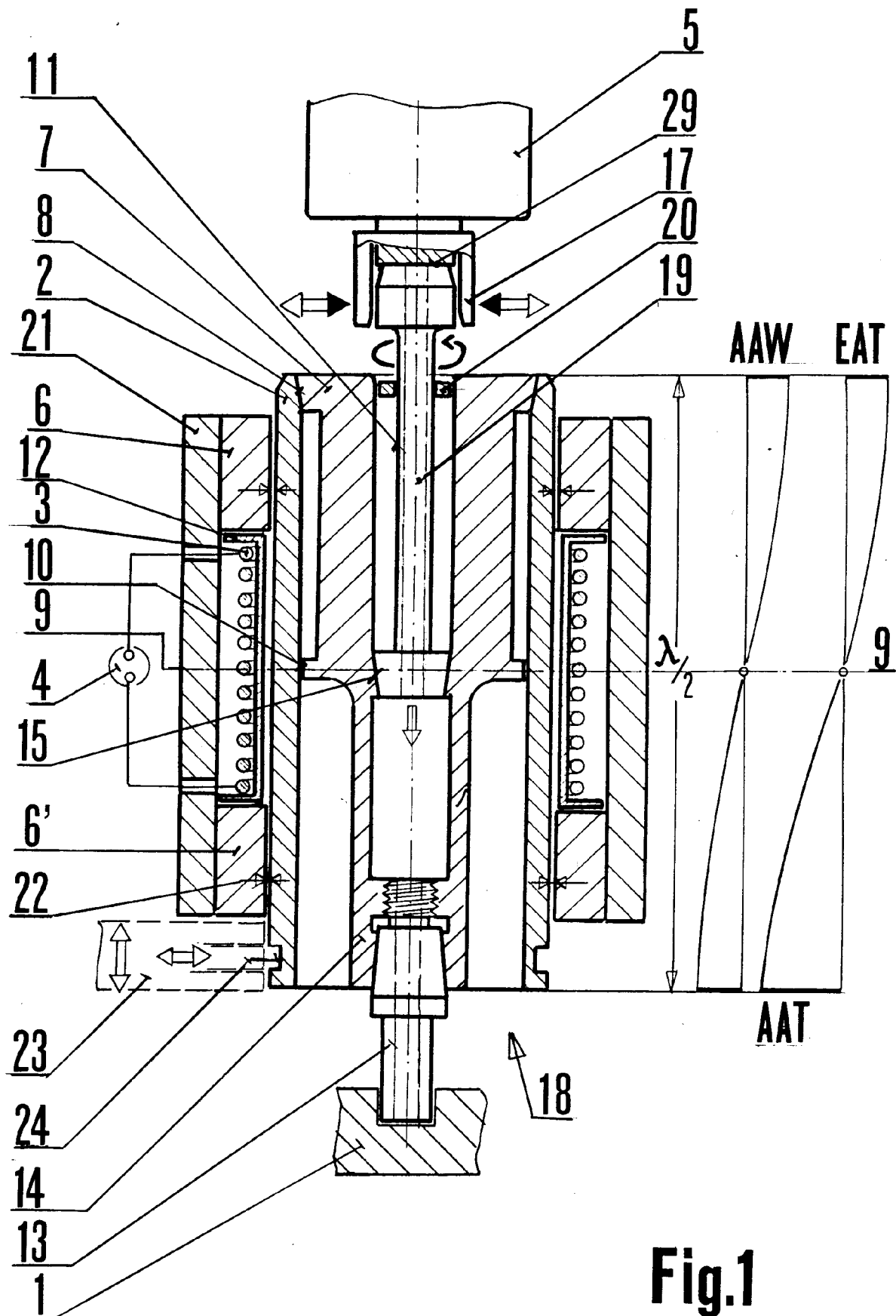
35

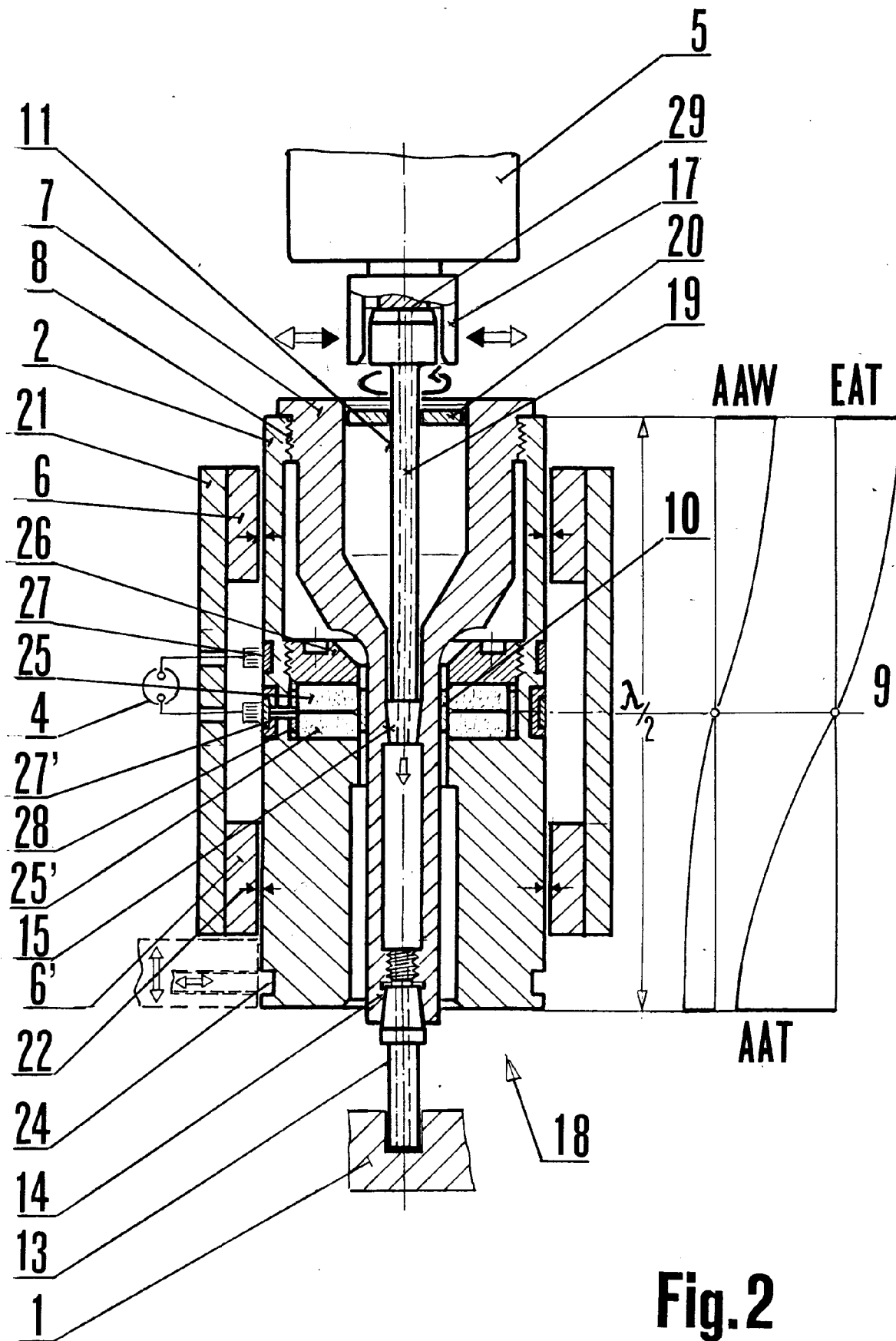
40

45

50

55





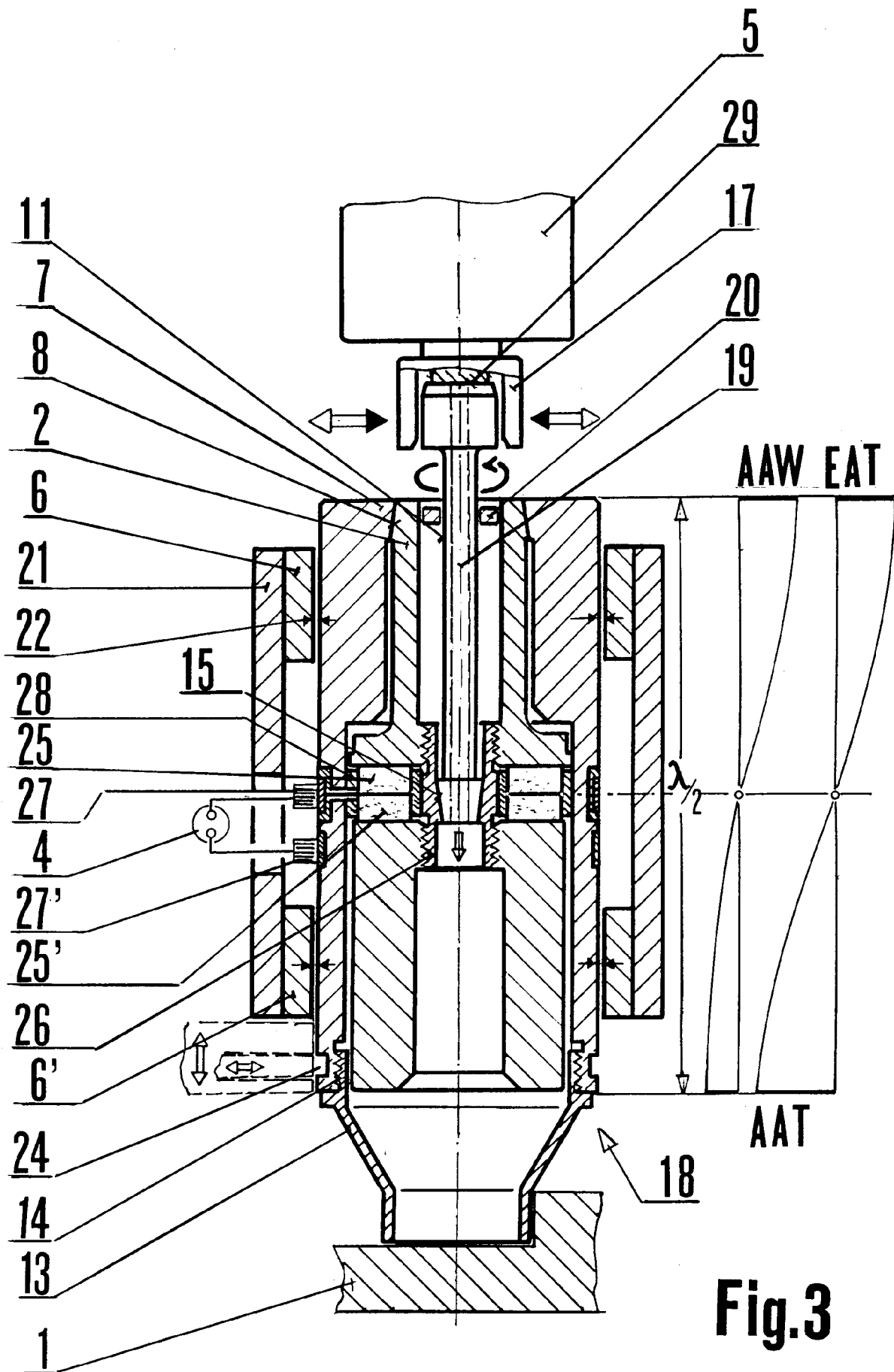


Fig.3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 93 81 0666

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.5)
A	EP-A-0 340 661 (MAFELL-ULTRASONICS GMBH) * Zusammenfassung; Abbildungen * ---	1	B24B1/04 B06B1/08 B24B41/04
A	GB-A-1 510 141 (GEARING & WATSON LTD.) * Seite 3, Zeile 65 - Zeile 102; Abbildungen 3,4 * ---	1	
A	US-A-4 180 946 (MATS C.D. HEIJKENSJOLD) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.5)
			B24B B06B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 7. Januar 1994	Prüfer Eschbach, D
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 Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)