



(11)

EP 1 565 905 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.10.2011 Patentblatt 2011/40

(51) Int Cl.:
G10K 11/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03767582.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2003/013003

(22) Anmeldetag: **19.11.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/047073 (03.06.2004 Gazette 2004/23)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KÜHLUNG VON ULTRASCHALLWANDLERN**

METHOD AND DEVICE FOR COOLING ULTRASONIC TRANSDUCERS

PROCEDE ET DISPOSITIF DE REFROIDISSEMENT DE TRANSDUCTEURS D'ULTRASONS

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

(30) Priorität: **20.11.2002 DE 10254894**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.08.2005 Patentblatt 2005/34

(73) Patentinhaber: **Dr. Hielscher GmbH**
14513 Teltow (DE)

(72) Erfinder: **HIELSCHER, Harald**
14532 Stahnsdorf (DE)

(74) Vertreter: **Hengelhaupt, Jürgen et al**
Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider
Patentanwälte - Rechtsanwälte
Wallstrasse 58/59
10179 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 765 637 WO-A-99/59378
DE-B- 10 254 894 US-A- 3 555 297
US-A- 3 694 675 US-A- 3 845 332
US-A- 5 371 429

EP 1 565 905 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kühlung von Ultraschallwandlern mit den in den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 6 genannten Merkmalen.

[0002] Bei dem Betrieb von Ultraschallwandlern treten Verlustleistungen in Form von Wärme auf. Die Ursache hierfür sind einerseits elektrische Verluste und darüber hinaus innere Reibungsverluste in den Piezoelementen, welche bei der Umwandlung der elektrischen Energie in mechanische Energie entstehen. Die Ableitung der dabei entstehenden Wärmemengen unter der Anwendung verschiedenartiger Wirkprinzipien ist allgemein bekannt. Die Funktionsweise der bekannten Kühlsysteme beruht auf den Prinzipien der Wärmeübertragung durch Wärmeleitung oder durch Konvektion. Meist wird eine Kombination beider Wirkprinzipien angewandt.

[0003] Die Schwierigkeit bei der Kühlung von Hochleistungsultraschallwandlern, welche naturgemäß große Schwingungsamplituden aufweisen, besteht darin, die entstehenden großen Wärmemengen ohne zusätzliche Belastung in Form von Reibung oder zusätzlicher Wärmeerzeugung abzuführen. Unter Anwendung der effektiveren Wärmeabführung durch Konvektion ist dies bisher nur mit gasförmigen Medien möglich, da durch den Einsatz von Kühlflüssigkeiten ein hoher zusätzlicher Leistungseintrag durch Kavitation erfolgt, welcher zu Beschädigungen des Wandlers führen kann. Bei der Verwendung gasförmiger Kühlmittel sind große Gasmengen mit hohem Druck zur Kühlung erforderlich, wodurch dieses Kühlverfahren sehr unwirtschaftlich ist. Weiterhin muß das Kühlgas frei von festen oder flüssigen Verunreinigungen sein, damit insbesondere aufgrund der bei Hochleistungsultraschallwandlern auftretenden hohen Spannungen keine Kurzschlüsse durch Brückenbildungen entstehen.

[0004] Aus EP 0553804 A2 ist ein Kühlsystem für einen Hochfrequenzultraschallwandler bekannt, welches auf dem Prinzip der Wärmeleitung beruht. Hinter dem Ultraschallwandler angeordnet befindet sich eine Wärmesenke in Form eines Kühlkörpers. Der Kühlkörper ist seinerseits mittels eines wärmeleitfähigen Harzes mit einem Gehäuse verbunden. Die Wärme wird zunächst vom Wandler in den Kühlkörper übertragen und von dort über das Harz in das umgebende Gehäuse, wo die Wärme letztlich an die umgebende Luft abgegeben wird. Diese Art der Kühlung ist für hohe Leistungen unzureichend und für hohe Amplituden von mehreren Mikrometern nicht anwendbar, weil dabei ein hoher Energieeintrag in das Harz erfolgt.

[0005] In vielen Fällen basiert die Funktionsweise von Kühlsystemen für Ultraschallwandler lediglich auf der Wärmeabfuhr durch die Öffnungen eines den Wandler umgebenden Gehäuses mittels Konvektion (z.B. SONOPULS HD 60, BANDELIN electronic GmbH & Co. KG). Auch diese Art der Kühlung ist für hohe Leistungen nicht ausreichend.

[0006] Weiterhin sind zahlreiche Varianten dieser Kühlungssysteme bekannt, bei welchen eine zusätzliche Kühlung durch Lüfter oder durch Pressluft erreicht wird z.B. WO 9959378. Nachteilig bei dieser Art der Kühlung ist, dass Staub oder Feuchtigkeit verstärkt in das Gehäuse transportiert werden können, worin sich die Gefahr eines elektrischen Kurzschlusses durch Brückenbildung mittels elektrisch leitfähiger Verunreinigungen erhöht. Auch geschlossene Systeme mit Lüfter und Wärmeaustausch von innen nach außen sind bekannt, die jedoch gerätetechnisch aufwendig sind und ebenfalls nur eine begrenzte Wärmeabfuhr erlauben.

[0007] Aus EP 0782125 A2 ist ferner eine Anordnung zur Kühlung eines hochfrequenten Ultraschallwandlers bekannt, bei welchem eine flüssigkeitsführende Wärmeleitrohre mit einem hinter dem Wandler angeordneten Kühlkörper verbunden ist. Die Kühlflüssigkeit wird über Zuleitungen zu- und abgeführt. Die Wärmeabfuhr von dem Kühlkörper erfolgt somit durch Konvektion. In einer speziellen Ausgestaltung dieses Kühlsystems ist die Wärmeleitrohre als Kanal ganz oder teilweise in das den Wandler umgebende Material eingeformt, um eine möglichst große Kontaktfläche zu realisieren. Die Kühlflüssigkeit durchströmt nicht den Schallwandler, sondern ein mit dem Schallwandler in Berührung befindliches Kühlsystem. Auch hier ist die Wärmeableitung für hohe Leistung unzureichend.

[0008] Darüber hinaus ist aus WO 0008630 A1 eine Anordnung zur Wärmeableitung, insbesondere für Ultraschallwandler hoher Leistung bekannt. Die Wärmeabführung beruht auf der Kombination von Wärmeleitung und Konvektion. Hierbei ist die Oberfläche des Wandlerkörpers mit einer schwingungsabsorbierenden Schicht versehen, welche die mechanischen Reibungsverluste bei der Wärmeübertragung reduziert. Darüber befindet sich eine Schicht wärmeleitfähigen Materials. Auf dieser Schicht ist ein Kühlkörper angeordnet, von welchem die Wärme mittels eines Kühlmittels durch Konvektion abführbar ist. Der Nachteil dieser Anordnung besteht darin, dass die durch die Schichtübergänge entstehenden Temperaturgradienten eine Reduzierung des Wirkungsgrades bei der Wärmeabführung bewirken. Weiterhin ist die maximal mögliche gemeinsame Kontaktfläche zwischen Wandler und Kühleinrichtung auf die Wandleroberfläche beschränkt, wodurch der Dauerbetrieb von Ultraschallwandlern hoher Leistung nur unter Zufuhr großer Mengen an Kühlmittel gewährleistet werden kann, woraus eine geringe Wirtschaftlichkeit des Verfahrens resultiert.

[0009] Mit der US 5,936,163 schließlich wird ein Ultraschallwandler beschrieben, welcher in Hochtemperaturumgebung wie Reaktoren und Dampfleitungen zum Einsatz gelangt. Zur Abführung der aus der Umgebung in den Wandler eingetragenen Wärme wird der Körper des Ultraschallwandlers mittels eines zirkulierenden Kühlmediums gekühlt.

[0010] Der Nachteil aller bekannten Lösungen besteht darin, dass der Dauerbetrieb von Ultraschallwandlern bei

hoher Leistung nicht oder nicht ohne großen Aufwand und/oder ohne eine Verschlechterung des Wirkungsgrades gewährleistet werden kann.

[0011] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kühlung von Ultraschallwandlern zu schaffen, welche sich durch eine effektivere Wärmeabführung der durch Verlustleistungen entstandenen Wärme als bisher bekannt auszeichnen und somit auch den Dauerbetrieb von Ultraschallwandlern bei hoher Leistung zuverlässig und wirtschaftlich gewährleisten.

[0012] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen und eine Vorrichtung mit den in Anspruch 6 genannten Merkmalen gelöst. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kühlung von Ultraschallwandlern zeichnet sich dadurch aus, dass der Körper des Ultraschallwandlers von einer unter Druck eingebrachten Kühlflüssigkeit durchströmt und/oder umströmt wird. Auf diese Weise wird vorteilhaft erreicht, dass die in den Wandlern erzeugte Wärme direkt durch Konvektion abgeführt wird. Es ist keine Wärmeleitung über Kühlelemente erforderlich. Durch das Durchströmen des Wandlerkörpers wird eine große gemeinsame Kontaktfläche zwischen Wandlern und Kühlflüssigkeit realisiert. Die erzielte Wärmeabführung ist wesentlich effektiver als bei den bekannten Verfahren, so dass mit den erfindungsgemäßen Mitteln der Dauerbetrieb von Ultraschallwandlern hoher Leistung gewährleistet werden kann.

[0013] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist bevorzugt vorgesehen, dass der Druck der Kühlflüssigkeit derart dimensioniert ist, dass die Kavitation reduziert oder vermieden wird. Bevorzugt wird der Druck hierbei in einem Bereich von 200 bis 2000 kPa (2 bis 20 bar) eingestellt. Insbesondere bevorzugt sind 500 kPa (5 bar) vorgesehen. Hierdurch wird vorteilhaft erreicht, dass die Gefahr einer Beschädigung der Vorrichtung durch Kavitation signifikant reduziert wird und dass ein zusätzlicher Leistungseintrag durch Kavitationserzeugung vermindert oder vermieden wird.

[0014] Der Druck der Kühlflüssigkeit kann durch die Dimensionierung von Durchströmkanälen und/oder durch Gasdruck erzeugt werden.

[0015] Ferner ist im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens bevorzugt vorgesehen, dass die Durchströmung des Körpers des Ultraschallwandlers vom Innenbereich zum Außenbereich, wobei der Flüssigkeitsdruck im Innenbereich aufgebaut wird und die Kühlflüssigkeit über das Gehäuse abfließt, oder vom Außenbereich zum Innenbereich, wobei der Druck im Außenbereich aufgebaut wird und die Kühlflüssigkeit über den Innenbereich abfließt, realisiert wird. Auf diese Weise wird eine besonders effektive Abführung der Wärme von den Wandlern erzielt. Darüber hinaus ist insbesondere bevorzugt vorgesehen, dass die Durchströmung derart erfolgt, dass zur Kavitationsvermeidung sowohl im Innen- als auch im Außenbereich Druck aufgebaut wird, wobei ein Druckgradient zwischen Innen- und Außenbereich zum Strö-

men der Kühlflüssigkeit erforderlich ist.

Bevorzugt vorgesehen ist weiterhin, dass der Körper des Ultraschallwandlers im Innenbereich und/oder im Außenbereich umströmt wird, da hierdurch Wärme von der Wandleroberfläche durch Konvektion abgeführt wird.

[0016] Der Innenbereich ist hierbei insbesondere der Hohlraum zwischen Spannstab und Wandlerkörper, der Außenbereich, insbesondere der Raum zwischen Wandlerkörper und Gehäuse.

[0017] Weiterhin ist im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens bevorzugt vorgesehen, dass die Kühlflüssigkeit eine elektrisch nichtleitende Flüssigkeit ist, da hierdurch elektrische Kurzschlüsse vermieden werden.

[0018] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kühlung von Ultraschallwandlern zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorrichtung aus mindestens einem Piezopakete und mindestens zwei zylindrischen Wandlerkörpern, die gemeinsam mit dem Piezopakete einen $\lambda/2$ -Schwinger bilden, besteht, wobei bei Mehrfachanordnungen von Wandlern jeweils zwei Wandlerkörper zu einem gemeinsamen Wandlerkörper kombinierbar sind und wobei mindestens einer der mindestens zwei Wandlerkörper mindestens einen Durchströmkanal aufweist, durch welchen unter Druck eingebrachte Kühlflüssigkeit strömbar ist.

Auf diese Weise wird vorteilhaft erreicht, dass die in den Wandlern erzeugte Wärme direkt durch Konvektion abführbar ist. Es ist keine Wärmeleitung über Kühlelemente erforderlich. Weiterhin lässt sich mit den erfindungsgemäßen Mitteln eine große gemeinsame Kontaktfläche zwischen Wandlern und Kühlflüssigkeit realisieren. Die erzielte Wärmeabführung ist wesentlich effektiver als bei den bekannten Verfahren, so dass mit den erfindungsgemäßen Mitteln der Dauerbetrieb von Ultraschallwandlern hoher Leistung gewährleistet werden kann.

[0019] In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist bevorzugt vorgesehen, dass der Druck der Kühlflüssigkeit derart dimensioniert ist, dass die Kavitation reduzierbar oder vermeidbar ist. Bevorzugt ist der Druck hierbei in einem Bereich von 200 bis 2000 kPa (2 bis 20 bar) eingestellt. Insbesondere bevorzugt sind 500 kPa (5 bar) vorgesehen. Hierdurch wird vorteilhaft erreicht, dass die Gefahr einer Beschädigung der Vorrichtung durch Kavitation signifikant reduziert wird und dass ein zusätzlicher Leistungseintrag durch Kavitationserzeugung vermindert oder vermieden wird.

[0020] Weiterhin ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass mindestens ein Durchströmkanal schlitzförmig ausgebildet ist, da hierdurch eine große gemeinsame Kontaktfläche zwischen Wandlerkörper und Kühlflüssigkeit realisierbar ist. Dies führt zu einem höheren Wirkungsgrad bei der Wärmeabführung.

[0021] In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist weiterhin vorgesehen, dass die Vorrichtung einen in einem Hohlraum der mindestens zwei Wandlerkörper angeordneten Spannstab mit mindestens zwei Öffnungen und mindestens einem Führungskanal umfasst, durch welchen die unter Druck eingebrachte Kühlflüssigkeit

strömbar ist. Hierdurch wird eine besonders einfach zu realisierende und gleichmäßige Zuführungsmöglichkeit der Kühlflüssigkeit in den Hohlraum erzielt.

[0022] Darüber hinaus ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass die Kühlflüssigkeit über den mindestens einen Führungskanal zuführbar und über den mindestens einen Durchströmkanal abführbar ist. Bevorzugt vorgesehen ist weiterhin, dass die Kühlflüssigkeit über den mindestens einen Durchströmkanal zuführbar und über den mindestens einen Führungskanal im Spannstab abführbar ist. Auf diese Weise ist eine besonders einfach handhabbare und realisierbare Möglichkeit der Durchströmung der Wandlerkörper vom Innen- zum Außenbereich bzw. vom Außen- zum Innenbereich gegeben.

[0023] Darüber hinaus ist in einer Ausgestaltung der Erfindung bevorzugt vorgesehen, dass die Vorrichtung ein flüssigkeitsdichtes Gehäuse umfasst. Das Gehäuse dient einerseits zum Schutz der aktiven Elemente des Wandlers und bietet weiterhin eine besonders günstige Möglichkeit der Aufnahme und Führung der Kühlflüssigkeit.

[0024] Darüber hinaus ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass die Vorrichtung einen Flansch umfasst, welcher mit dem Gehäuse und/oder einen Horn und/oder einer Endmasse verbunden ist. Durch den Flansch wird eine besonders einfach zu realisierende Befestigungsmöglichkeit des Gehäuses erzielt. Weiterhin ist durch das Horn eine besonders günstige Verbindungsmöglichkeit mit einer Sonotrode gegeben.

In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist weiterhin vorgesehen, dass die Vorrichtung mindestens eine Anschlusseinrichtung für eine Kühlflüssigkeitsleitung aufweist, durch welche die Kühlflüssigkeit in den Hohlraum der Wandlerkörper strömbar und/oder aus dem Hohlraum abführbar ist. Durch diese Mittel wird eine besonders einfach handhabbare Anschlussmöglichkeit des Hohlraumes an eine Kühlflüssigkeitsversorgungseinrichtung und eine Versorgungsmöglichkeit des Hohlraums mit Kühlflüssigkeit realisiert.

[0025] In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, dass die Vorrichtung mindestens eine Anschlusseinrichtung für eine Kühlflüssigkeitsleitung aufweist, durch welche die Kühlflüssigkeit in den mindestens einen Führungskanal strömbar und/oder aus dem mindestens einen Führungskanal abführbar ist. Durch diese Mittel wird eine besonders einfach handhabbare Anschlussmöglichkeit des mindestens einen Führungskanals an eine Kühlflüssigkeitsversorgungseinrichtung und eine Versorgungsmöglichkeit des mindestens einen Führungskanals mit Kühlflüssigkeit realisiert.

[0026] Ferner ist in besonders bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass die Vorrichtung mindestens eine Anschlusseinrichtung für eine Kühlflüssigkeitsleitung aufweist, durch welche die Kühlflüssigkeit in das Gehäuse strömbar und/oder aus dem Gehäuse abführbar ist. Durch diese Mittel wird eine besonders ein-

fach handhabbare Anschlussmöglichkeit des Gehäuses an eine Kühlflüssigkeitsversorgungseinrichtung und eine Versorgungsmöglichkeit des mindestens einen Führungskanals mit Kühlflüssigkeit realisiert.

[0027] Schließlich ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass mindestens einer der mindestens zwei Wandlerkörper zumindest teilweise an der Innenfläche und/oder zumindest teilweise an der Außenfläche von der Kühlflüssigkeit umströmbar ist. Hierdurch wird eine effektive Abführung der Wärme von den Wandlerkörpern durch Konvektion erzielt.

[0028] In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung weisen die Wandlerkörper keine Durchströmkanäle auf. Bei dieser Ausführungsvariante werden die Wandlerkörper lediglich umströmt, wobei der Innenraum mit dem Außenraum durch einen Verbindungskanal verbunden ist.

[0029] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

25 Figur 1 eine schematische Schnittdarstellung eines Ultraschallwandlers mit einer Vorrichtung zur Kühlung mit einem axial angeordneten Zulauf für Kühlflüssigkeit

30 Figur 2 eine schematische Schnittdarstellung eines Ultraschallwandlers mit einer Vorrichtung zur Kühlung mit zwei radial angeordneten Zuläufen für Kühlflüssigkeit

35 Figur 3 eine schematische Schnittdarstellung eines Ultraschallwandlers mit einer Vorrichtung zur Kühlung ohne Durchströmkanäle und mit Verbindungskanal.

40 **[0031]** In Figur 1 ist schematisch der Längsschnitt eines Ultraschallwandlers mit einer Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Kühlung des Ultraschallwandlers dargestellt. Der Ultraschallwandler ist aus zylindrischen Wandlerkörpern 5, 6 mit jeweils stirnseitig zwischen zwei Wandlerkörpern 5, 6 angeordneten Piezopaketen 4 aufgebaut, wobei einige der Wandlerkörper 5, 6 als gemeinsame Wandlerkörper 6 ausgeführt sind, an deren Stirnseiten jeweils ein Piezopaket 4 angeordnet ist. Jeweils ein Piezopaket 4 bildet mit einem der Wandlerkörper 5 und der Hälfte eines der gemeinsamen Wandlerkörper 6 oder mit jeweils der Hälfte zweier gemeinsamer Wandlerkörper 6 einen $\lambda/2$ -Schwinger. Die Wandlerkörper 5, 6 weisen in radialer Richtung Durchströmkanäle 7 auf. Wandlerkörper 5, 6 und Piezopakete 4 sind wechselweise auf einen Spannstab 3 mit Endgewinden aufgereiht. Mit Hilfe zweier an gegenüberliegenden Enden des Spannstabes 3 angeordneter Endmassen 10 mit Gewinde, welche jeweils auf ein Endgewinde des

Spannstabes 3 aufgeschraubt sind, wird die Anordnung fixiert und gespannt. Der Spannstab 3 weist einen Führungskanal 13 für Kühlflüssigkeit auf, wobei an dessen einem Ende eine Anschlussvorrichtung für eine Kühlflüssigkeitsleitung 1 angebracht ist, welche den Zulauf 1 für die Kühlflüssigkeit bildet. Der Spannstab weist Austrittsöffnung für die aus dem Führungskanal strömende Kühlflüssigkeit in den Hohlraum 11 der Wandlerkörper auf. Die gegenüberliegende Endmasse 10 ist mit einem Horn 8 verbunden, welches die Verbindungsmöglichkeit mit einer Sonotrode bietet und zur Übertragung der vom Wandler erzeugten mechanischen Schwingungen dient. Die Vorrichtung ist mit einem flüssigkeitsdichten Gehäuse 12 zur Aufnahme der Kühlflüssigkeit versehen, welches mit einem Flansch 9 verbunden ist, der eine Möglichkeit zur Montage in einer äußeren Anlage bietet. Der Flansch 9 ist mit dem Horn 8 verbunden. Der Flansch 9 weist eine Anschlusseinrichtung für eine Kühlflüssigkeitsleitung 2 auf, welche den Ablauf 2 für die Kühlflüssigkeit aus dem Gehäuse 12 bildet. Die Kühlflüssigkeitsleitung für den Zulauf 1 ist durch das Gehäuse 12 hindurch geführt. Die Kühlflüssigkeit wird über den Zulauf 1 unter Druck in den Führungskanal 13 des Spannstabes 3 eingebracht. Über den Führungskanal 13 wird die Kühlflüssigkeit dem Hohlraum 11 der Wandlerkörper zugeführt, wo die Wandlerkörper von der Kühlflüssigkeit durchströmt werden, um letztlich durch die Durchströmkanäle 7 der Wandlerkörper 5, 6 zu strömen. Die von den Wandlern erzeugte Wärme wird auf diese Weise direkt durch Konvektion auf die Kühlflüssigkeit übertragen. Die aus den Durchströmkanälen 7 austretende Kühlflüssigkeit wird in dem Gehäuse 12 aufgefangen und über den Ablauf 2 aus der Vorrichtung abgeführt. Auf diese Weise wird eine effektivere Kühlung des Ultraschallwandlers als bei den bekannten Verfahren erzielt. Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Mittel wird auch der Dauerbetrieb von Ultraschallwandlern hoher Leistung gewährleistet.

[0032] Zur Erhöhung der Lebensdauer der Wandlerkörper und/oder zur Realisierung einer effektiven Durchströmung der als Schlitze ausgebildeten Durchströmkanäle 7 können an den Enden der Durchströmkanäle 7 Öffnungen, zum Beispiel kreisförmige Bohrungen, angebracht werden. Der Durchmesser der Bohrungen ist zweckmäßigerweise größer als die Breite der Schlitze.

[0033] Figur 2 zeigt schematisch den Längsschnitt des Aufbaus eines Ultraschallwandlers mit einer weiteren Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Kühlung des Ultraschallwandlers, welcher im wesentlichen dem in Figur 1 gezeigten entspricht. Im Unterschied zu dem Aufbau in Figur 1 sind zwei Zuläufe 1 für die Kühlflüssigkeit vorhanden, welche jeweils radial angeordnet und von außen durch das Gehäuse 12 und die Endmassen 10 hindurch in den Hohlraum 11 zwischen Spannstab 3 und Wandlerkörper 5, 6 geführt sind. Die Anschlusseinrichtungen 1 für den Anschluss der Kühlflüssigkeitsleitungen an den Hohlraum 11 sind somit an den gegenüberliegenden Enden des Wandlers angeordnet. Auf diese Weise wird die Kühlflüssigkeit von den

gegenüberliegenden Enden aus unter Druck in den Hohlraum 11 eingebracht und durch die Durchströmkanäle 7 abgeleitet. Hierdurch ergibt sich vorteilhaft eine gleichmäßigere Wärmeabführung über die gesamte Länge der Vorrichtung als in Figur 1. Es wird somit eine noch effektivere Kühlung des Ultraschallwandlers als mit dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel erreicht.

[0034] Figur 3 zeigt eine weitere Ausführungsvariante der Erfindung, bei welcher die Wandlerkörper 5, 6 keine Durchströmkanäle 7 aufweisen. Allerdings ist der Innenraum 11 mit dem Außenraum 14 über einen Verbindungskanal 15 verbunden. In einer ersten Variante wird die Kühlflüssigkeit über den Zulauf 1 zugeführt, gelangt über den Führungskanal 13 in den Innenraum 11, umströmt und kühlt die Wandlerkörper 5, 6, verlässt über den Verbindungskanal 15 den Innenraum 11 und wird über den Außenraum 14 und den Ablauf 2 abgeführt. Bei dieser Variante wird lediglich die Innenseite der Wandlerkörper 5, 6 gekühlt.

Alternativ ist es in einer zweiten Variante möglich, nur die Außenseite der Wandlerkörper 5, 6 zu kühlen, indem über den Gehäusezulauf 1a sowie eine Ringleitung 17 Kühlflüssigkeit zugeführt wird. Die über den Gehäusezulauf 1a zugeführte Kühlflüssigkeit wird über die Ringleitung 17 gleichmäßig zugeführt und verteilt und umströmt nun die Außenseite der Wandler 5, 6 oder bildet zumindest hier einen Kühlmittelfilm und wird über den Ablauf 2 abgeführt. In einer dritten Variante ist es möglich, sowohl die Innenseiten als auch die Außenseiten der Wandlerkörper 5, 6 zu kühlen, indem sowohl über den Zulauf 1 in den Innenraum 11 als auch über den Gehäusezulauf 1a in den Außenraum 14 Kühlmittel zugeführt wird.

Die Abführung des über den Zulauf 1 zur Kühlung der Innenseiten sowie des über den Gehäusezulauf 1a zur Kühlung der Außenseiten der Wandlerelemente 5, 6 zugeführten Kühlmittels erfolgt über den Ablauf 2.

Zur Vermeidung der Kavitation wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel über den Gasdruckstutzen 6 im Gehäuse 12 ein Gasdruck erzeugt, welcher in diesem Ausführungsbeispiel 6 bar beträgt.

[0035] Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die hier dargestellte Ausführungsvariante. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination der beschriebenen Mittel und Merkmale weiterer Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0036]

- | | |
|----|--|
| 1 | Anschlusseinrichtung für Kühlflüssigkeitsleitungen, Zulauf |
| 1a | Gehäusezulauf |
| 2 | Anschlusseinrichtung für Kühlflüssigkeitsleitungen, Ablauf |

3	Spannstab		bereich realisiert wird.
4	Piezopaketa		4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper des Ultraschallwandlers im Innenbereich und/oder im Außenbereich von der Kühlflüssigkeit umströmt wird.
5	Wandlerkörper	5	
6	gemeinsamer Wandlerkörper		5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlflüssigkeit eine elektrisch nichtleitende Flüssigkeit ist.
7	Durchströmkanal	10	
8	Horn		6. Vorrichtung zur Kühlung von Ultraschallwandlern, bestehend aus mindestens einem Piezopaketa (4) und mindestens zwei zylindrischen Wandlerkörpern (5), die gemeinsam mit dem Piezopaketa (4) einen $\lambda/2$ -Schwinger bilden, wobei bei Mehrfachanordnungen von Wandlern jeweils zwei Wandlerkörper zu einem gemeinsamen Wandlerkörper (6) kombinierbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandlerkörper (5, 6) von einem Innenraum (11) und einem Außenraum (14) umgeben sind und dass mindestens einer der mindestens zwei Wandlerkörper (5, 6) mindestens einen Durchströmkanal (7) aufweist, durch welchen unter Druck eingebrachte Kühlflüssigkeit strömbar ist und/oder zwischen dem Innenraum (11) und dem Außenraum (14) mindestens ein Verbindungskanal (15) angeordnet ist, wobei der Druck derart dimensioniert ist, dass die Kavitation reduziert oder vermieden wird und der Druck im Bereich von 200 bis 2000 kPa (2 bis 20 bar) eingestellt ist und vorzugsweise 500 kPa (5 bar) beträgt.
9	Flansch		
10	Endmasse	15	
11	Hohlraum, Innenraum		
12	flüssigkeitsdichtes Gehäuse	20	
13	Führungskanal		
14	Außenraum		
15	Verbindungskanal	25	
16	Gasdruckstutzen		
17	Ringleitung	30	

Patentansprüche

- Verfahren zur Kühlung von Ultraschallwandlern durch Abführung der durch Verlustleistungen entstandenen Wärme, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - der Körper des Ultraschallwandlers von einer Kühlflüssigkeit durchströmt und/oder umströmt wird,
 - ein Druck in der Kühlflüssigkeit erzeugt und im Bereich von 200 bis 2000 kPa (2 bis 20 bar) eingestellt wird, wobei dieser derart dimensioniert ist, dass die Kavitation reduziert oder vermieden wird und
 - der Druck durch die Dimensionierung von Durchströmkanälen und/oder durch Gasdruck erzeugt wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck der Kühlflüssigkeit vorzugsweise 500 kPa (5 bar) beträgt.
- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Durchströmung des Körpers des Ultraschallwandlers vom Innenbereich zum Außenbereich oder vom Außenbereich zum Innenbereich realisiert wird.
- Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Durchströmkanal (7) schlitzförmig ausgebildet ist und dass die Vorrichtung einen in einem aus mindestens zwei Wandlerkörper (5, 6) gebildeten Hohlraum (11) angeordneten Spannstab (3) mit mindestens einer Öffnungen und mindestens einem Führungskanal (13) umfasst, durch welchen die unter Druck eingebrachte Kühlflüssigkeit strömbar ist und dass die Kühlflüssigkeit über den mindestens einen Führungskanal (13) zuführbar und über den mindestens einen Durchströmkanal (7) abführbar ist und dass die Kühlflüssigkeit über den mindestens einen Durchströmkanal (7) zuführbar und über den mindestens einen Führungskanal (13) im Spannstab (3) abführbar ist.
- Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein flüssigkeitsdichtes Gehäuse (12) und einen Flansch umfasst, welcher mit dem Gehäuse (12) und einem Horn (8) verbunden ist und dass die Vorrichtung mindestens je eine Anschlusseinrichtung (1, 2) für eine Kühlflüssigkeitsleitung aufweist, durch welche die Kühlflüssigkeit in den Hohlraum (11) strömbar und/oder aus dem Hohlraum (11) abführbar ist oder dass die Vorrichtung mindestens je eine Anschlussein-

richtung (1, 2) für eine Kühlflüssigkeitsleitung aufweist, durch welche die Kühlflüssigkeit in den mindestens einen Führungskanal (13) strömbar und/oder aus dem mindestens einen Führungskanal (13) abführbar ist oder dass die Vorrichtung mindestens je eine Anschlusseinrichtung (1a, 2) für eine Kühlflüssigkeitsleitung aufweist, durch welche die Kühlflüssigkeit in das Gehäuse (12) strömbar und/oder aus dem Gehäuse (12) abführbar ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens einer der mindestens zwei Wandlerkörper (5, 6) zumindest teilweise an der Innenfläche und/oder zumindest teilweise an der Außenfläche von der Kühlflüssigkeit umströmbar ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Durchströmkanäle (7) an ihren Enden Öffnungen mit einem Durchmesser größer als die Breite der Durchströmkanäle (7) aufweisen.

Claims

1. Method for cooling ultrasonic transducers by removing heat generated by power losses, **characterized in that**
- a cooling fluid flows through and/or around the body of the ultrasonic transducer,
 - a pressure is generated in the cooling fluid is adjusted in a range from 200 to 2000 kPa, wherein the pressure is dimensioned so as to reduce or prevent cavitations, and
 - the pressure is generated by dimensioning the flow-through channels and/or by a gas pressure.
2. Method according to claim 1, **characterized in that** the pressure of the cooling fluid is preferably 500 kPa.
3. Method according to claim 1 or 2, **characterized in that** the cooling fluid flows through the body of the ultrasonic transducer from the interior region to the exterior region or from the exterior region to the interior region.
4. Method according to one of the claims 1 to 3, **characterized in that** cooling fluid flows around the interior region and/or the exterior region of the body of the ultrasonic transducer.
5. Method according to one of the claims 1 to 4, **characterized in that** the cooling fluid is an electrically non-conducting fluid.

6. Device for cooling ultrasonic transducers, comprising at least one piezo stack (4) and at least two cylindrical transducer bodies (5), which together with the piezo stack (4) form a $\lambda/2$ oscillator, wherein two corresponding transducer bodies can be combined as multiple transducer arrangements to form a unitary transducer body (6), **characterized in that** the transducer bodies (5, 6) are surrounded by an interior space (11) and an exterior space (14), and that at least one of the at least two transducer bodies (5,6) includes at least one flow-through channel (7), through which a cooling fluid introduced under pressure can flow, and/or that at least one connecting channel (15) is arranged between the interior space (11) and the exterior space (14), wherein the pressure is dimensioned so as to reduce or prevent cavitations, and that the pressure is adjusted in a range from 200 to 2000 kPa, and preferably is 500 kPa.

7. Device according to claim 6, **characterized in that** at least one flow-through channel (7) is formed as a slit and that the device comprises a tensioning rod (3) arranged in a hollow space (11) formed by at least two transducer bodies (5, 6) and having at least one opening and at least one guide channel (13), through which the cooling fluid introduced under pressure can flow, and that the cooling fluid can be supplied through the at least one guide channel (13) and removed through the at least one flow-through channel (7), and that the cooling fluid can be supplied through the at least one flow-through channel (7) and removed through the at least one guide channel (13) disposed in the tensioning rod (3).

8. Device according to one of the claims 6 to 8, **characterized in that** the device includes a fluid-tight housing (12) and a flange, which is connected with the housing (12) and with a horn (8), and that the device includes at least one corresponding connection (1, 2) for a cooling liquid line through which the cooling liquid can flow into the hollow space (11) and/or be removed from the hollow space (11), or that the device includes at least one corresponding connection (1, 2) for a cooling fluid line, through which the cooling fluid can flow into the at least one guide channel (13) and/or be removed from the at least one guide channel (13), or that the device includes at least one corresponding connection (1a,2) for a cooling fluid line, through which the cooling fluid can flow into the housing (12) and/or be removed from the housing (12).

9. Device according to one of the claims 6 to 8, **characterized in that** the cooling fluid can flow at least around a portion of the inner surface and/or at least around a portion of the outer surface of at least one of the at least two transducer bodies (5, 6).

10. Device according to one of the claims 6 to 9, **characterized in that** openings are disposed on the ends of the flow-through channels (7), which openings have a diameter that is greater than the width of the flow-through channels (7).

5

Revendications

1. Procédé de refroidissement de transducteurs d'ultrasons par dissipation de la chaleur générée par la puissance dissipée, **caractérisé en ce que**

- le corps du transducteur d'ultrasons est parcouru et/ou entouré d'un liquide de refroidissement,
- une pression est générée dans le liquide de refroidissement et ajustée dans la plage de 200 à 2000 kPa, la pression étant dimensionnée de telle manière que la cavitation soit réduite ou évitée, et
- la pression est générée par le dimensionnement de canaux d'écoulement et/ou par pression de gaz.

15

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la pression du liquide de refroidissement s'élève de préférence à 500 kPa.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'écoulement à travers le corps du transducteur d'ultrasons est réalisé de la zone intérieure à la zone extérieure ou de la zone extérieure à la zone intérieure.

30

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le corps du transducteur d'ultrasons est entouré par le liquide de refroidissement dans la zone intérieure et/ou dans la zone extérieure.

35

5. Procédé selon l'une de revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le liquide de refroidissement est un liquide électriquement non conducteur.

40

6. Dispositif de refroidissement de transducteurs d'ultrasons, consistant en au moins un paquet (4) piézo-électrique et au moins deux corps (5) transducteurs cylindriques qui forment, avec le paquet (4) piézo-électrique, un oscillateur $\lambda/2$; dans lequel, dans le cas d'accouplements de transducteurs, respectivement deux corps transducteurs peuvent être associés pour former un corps (6) transducteur commun, **caractérisé en ce que** les corps (5, 6) transducteurs sont entourés d'un espace (11) intérieur et d'un espace (14) extérieur, et qu'au moins l'un des deux corps (5, 6) transducteurs comprend au moins un canal (7) d'écoulement à travers lequel peut s'écouler un liquide de refroidissement injecté sous pres-

45

50

55

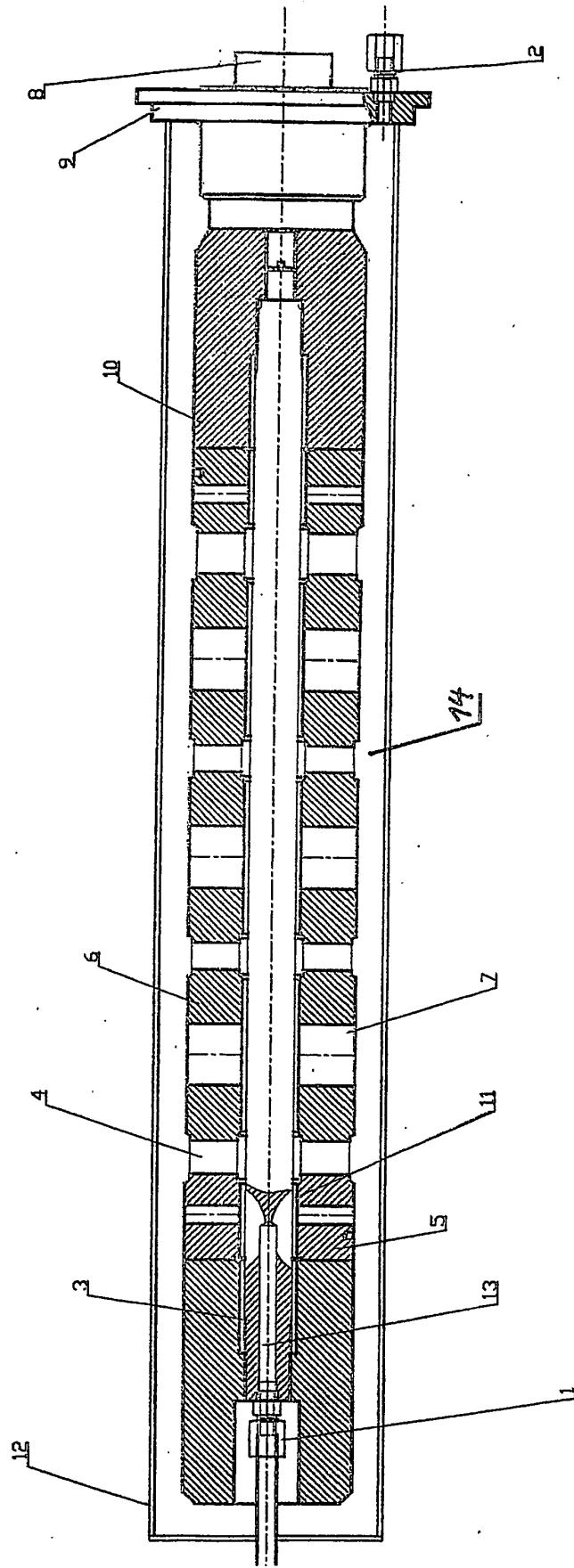
sion, et/ou qu'au moins un canal (15) de liaison est disposé entre l'espace (11) intérieur et l'espace (14) extérieur, la pression étant dimensionnée de telle manière que la cavitation soit réduite ou évitée et que la pression soit ajustée dans la plage de 200 à 2000 kPa et s'élève de préférence à 500 kPa.

7. Dispositif selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'**au moins un canal (7) d'écoulement est réalisé en forme de fente, et que le dispositif comprend une barre (3) de tension disposée dans une cavité (11) formée par au moins deux corps (5, 6) transducteurs et ayant au moins une ouverture et au moins un canal (13) de guidage à travers lequel peut s'écouler le liquide de refroidissement injecté sous pression, et que le liquide de refroidissement peut être amené par l'au moins un canal (13) de guidage et être dissipé par l'au moins un canal (7) d'écoulement, et que le liquide de refroidissement peut être amené par l'au moins un canal (7) d'écoulement et être dissipé par l'au moins un canal (13) de guidage situé dans la barre (3) de tension.

8. Dispositif selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** le dispositif comprend un boîtier (12) étanche aux liquides et une bride reliée au boîtier (12) et à un cornet (8), et que le dispositif comprend respectivement au moins un dispositif (1, 2) de raccordement pour une conduite de liquide de refroidissement à travers laquelle le liquide de refroidissement peut s'écouler dans la cavité (11) et/ou être dissipé de la cavité (11), ou que le dispositif comprend respectivement au moins un dispositif (1, 2) de raccordement pour une conduite de liquide de refroidissement à travers laquelle le liquide de refroidissement peut s'écouler dans l'au moins un canal (13) de guidage et/ou être dissipé de l'au moins un canal (13) de guidage, ou que le dispositif comprend au moins un dispositif (1a, 2) de raccordement pour une conduite de liquide de refroidissement à travers laquelle le liquide de refroidissement peut s'écouler dans le boîtier (12) et/ou être dissipé du boîtier (12).

9. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 8, **caractérisé en ce que** l'au moins un des au moins deux corps (5, 6) transducteurs peut être entouré du liquide de refroidissement au moins en partie à la zone intérieure et/ou au moins en partie à la zone extérieure.

10. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 9, **caractérisé en ce que** les canaux (7) d'écoulement comprennent des ouvertures à leurs extrémités dont le diamètre est supérieur à la largeur des canaux (7) d'écoulement.



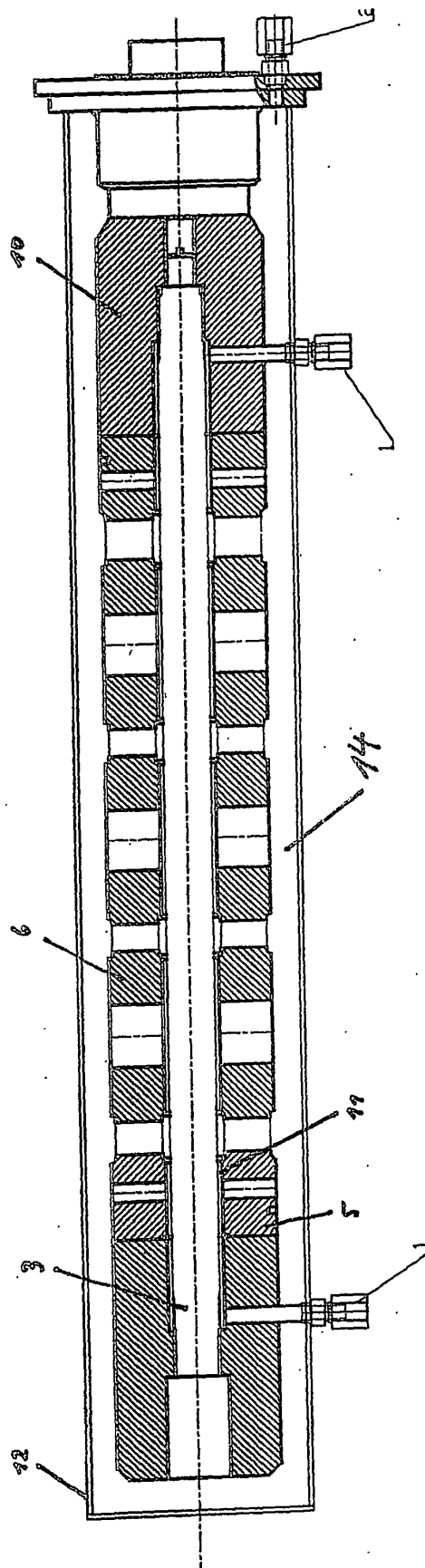


Fig. 2

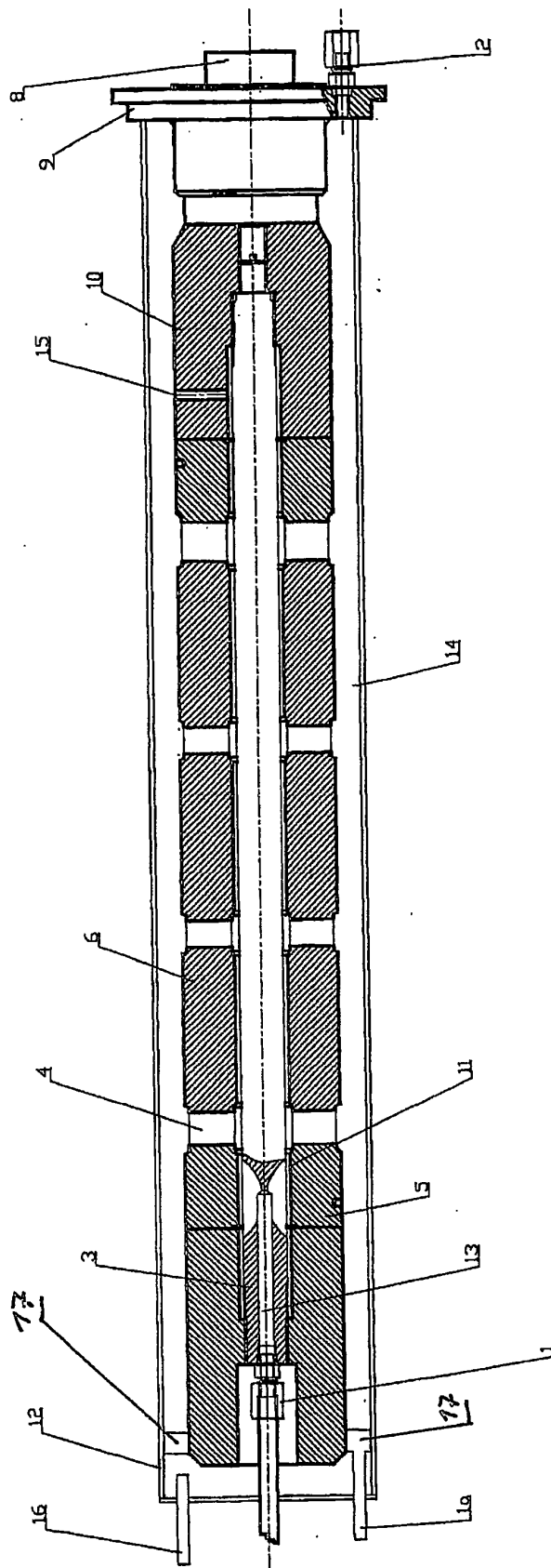


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0553804 A2 [0004]
- WO 9959378 A [0006]
- EP 0782125 A2 [0007]
- WO 0008630 A1 [0008]
- US 5936163 A [0009]