



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



⑪ Veröffentlichungsnummer: **0 458 426 B1**

⑫

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④⁵ Veröffentlichungstag der Patentschrift: **01.02.95**

⑤¹ Int. Cl.⁶: **B06B 1/04, G01N 29/24**

②¹ Anmeldenummer: **91250095.6**

②² Anmeldetag: **09.04.91**

### ⑤⁴ Elektrodynamischer Ultraschallwandler und Ultraschalleinrichtung.

③⁰ Priorität: **21.05.90 DE 4016741**

④³ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**27.11.91 Patentblatt 91/48**

④⁵ Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Patenterteilung:  
**01.02.95 Patentblatt 95/05**

⑧⁴ Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR IT**

⑤⁶ Entgegenhaltungen:  
**DE-A- 2 637 412**  
**DE-A- 2 655 804**  
**US-A- 3 963 980**  
**US-A- 4 058 002**

⑦³ Patentinhaber: **MANNESMANN Aktiengesellschaft**  
**Postfach 10 36 41**  
**D-40027 Düsseldorf (DE)**

⑦² Erfinder: **Graff, Alfred, Dipl.-Phys.**  
**Viehauser Berg 83**  
**W-4300 Essen 16 (DE)**  
Erfinder: **Verhoeven, Jürgen**  
**Klodnitzstrasse 2**  
**W-4130 Moers (DE)**  
Erfinder: **Wächter, Michael, Dr. rer. nat.**  
**Am Kockshof 23**  
**W-4030 Ratingen 8 (DE)**

⑦⁴ Vertreter: **Meissner, Peter E., Dipl.-Ing. et al**  
**Meissner & Meissner,**  
**Patentanwaltsbüro,**  
**Postfach 33 01 30**  
**D-14171 Berlin (DE)**

**EP 0 458 426 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingeleitet, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen elektrodynamischen Ultraschallwandler bzw. eine Ultraschalleinrichtung gemäß Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 14.

Ultraschallwandler bzw. Ultraschalleinrichtungen der gattungsgemäßen Art sind in der noch nicht veröffentlichten deutschen Patentanmeldung P 40 03 215.9-52 dargestellt. Hierbei sind Magnetsystem und Wandlerspule so zueinander angeordnet, daß über die mit hochfrequentem Wechselstrom beaufschlagte Wandlerspule in der Werkstückoberfläche Wirbelströme induziert werden, die mit den durch das Magnetsystem erzeugten Feldlinien überlagern. Die so erzeugten Bewegungen der oberflächennahen Elektronen koppeln an das Metallgitter und erzeugen so Dichteschwankungswellen, d. h. Ultraschall. Die dadurch entstehenden Ultraschallwellen erhalten je nach Magnetfeldgeometrie und gewählter Wechselstromfrequenz in der Wandlerspule eine wählbare Vorzugsrichtung. Aus der deutschen Auslegeschrift DE 26 55 804 ist es weiteren bekannt, daß die Wandler- bzw. Wicklungsgeometrie die Spurwellenlänge der auf elektrodynamischem Wege erzeugten Ultraschallwelle vorgibt.

Die oben dargestellten bekannten Ultraschallwandler bzw. Ultraschalleinrichtungen sind aufgrund ihrer konstruktiven Ausgestaltung nicht für den Einsatz bei hohen Temperaturen geeignet. Die in der deutschen Auslegeschrift 26 55 804 dargestellten Maßnahmen zum möglichst resonanten Betrieb der Sender- und Empfängerwandler berücksichtigen nicht den Einfluß größerer Kabellängen zwischen Wandler und Signalverarbeitungseinheit.

Außerdem würden bei den oben dargestellten bekannten Ultraschallwandlern bzw. Ultraschalleinrichtungen wegen der Verwendung teils beweglicher und teils fester Verbindungen im Warmbetrieb erhebliche Störungen auftreten. Des weiteren weisen die o. g. Wandler keine besonderen Schutzmaßnahmen für den Einsatz in strahlen- und/oder spritzwassergefährdeten Bereichen auf.

In bekannten Ultraschalleinrichtungen werden bei großen Entfernungen zwischen Signalverarbeitungseinheit und Wandlern Vorverstärker in der Nähe der Wandler plaziert, die um induktive und kapazitive Störeffekte der Signalleitungen auszuschließen, das Signal aufzubereiten. Das über die Wandler erzeugte hochfrequente Signal, welches eine Amplitude im Bereich von nur etwa 1 Millivolt besitzt, wird dabei so aufbereitet, daß das Signal von den Vorverstärkern über größere Längen zu der Signalverarbeitungseinheit transportiert werden kann. Dies hat den Nachteil, daß die Ultraschalleinrichtung durch die zusätzliche Verwendung von Vorverstärkern aufwendig und störanfällig ist. Die Tatsache, daß die Vorverstärker in der Nähe der

Wandler plaziert werden müssen und die in den Vorverstärkern angeordneten elektronischen Baulemente weder strahlenresistent noch temperaturfest sind, hat nachteiligerweise die Folge, daß eine so aufgebaute Ultraschalleinrichtung nicht unter diesen genannten Extrembedingungen, d. h. hohe Temperatur, hohe Strahlenbelastung und Spritzwassergefährdung, einsetzbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Ultraschalleinrichtung zu schaffen und den oben genannten Ultraschallwandler derart weiterzubilden, daß bei Temperaturzyklen von 23 Grad Celsius bis zu 300 Grad Celsius und der Verwendung großer Sende- und Empfangsleitungslängen ein störungsfreier Betrieb gewährleistet ist, wobei auf Vorverstärker verzichtet werden kann und der Wandler außerdem im gesamten oben genannten Temperaturbereich spritzwasser- und strahlenresistent sein soll.

Die gestellte Aufgabe wird bei einem elektrodynamischen Ultraschallwandler gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 dadurch gelöst, daß das Magnetsystem aus einem weichmagnetischen zur Werkstückoberfläche hin offenen Gehäuse besteht, innerhalb dessen ein Permanentmagnet mit seiner Polachse senkrecht zur Werkstückoberfläche ausgerichtet ist und mit der der Werkstückoberfläche abgewandten Polfläche am Gehäuse magnetisch gehalten anliegt und mit der anderen Polfläche mit einem die Wandlerspule aufnehmenden Träger verbunden ist, daß der elektrische Anschluß aus einem ein- oder mehradrigen Koaxialkabel besteht, welches sich durch eine Öffnung im Gehäuse hindurch erstreckt und mit demselben fest verbunden ist, daß mindestens ein freies Drahtende der Wandlerspule flexibel und mit jeweils einer der Leitungsdänen des Koaxialkabels verbunden ist und an der bzw. den Kontaktstellen hartverlötet und die Lötstellen und die Wandlerspulendrähte mit einem hochtemperaturfesten Kunststoff isoliert sind. In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist das Gehäuse dosenförmig ausgestaltet und besteht aus Weicheisen. Bei wechselnden Betriebstemperaturen erweist es sich als besonders vorteilhaft, die Erfindung dahingehend auszugestalten, daß das Gehäuse an der Fläche, die an der Polfläche des Permanentmagneten anliegt, eine Ausnehmung aufweist, dessen zu der Polfläche parallele Erstreckung so groß ist, daß der Rand dieser Polfläche von den Seitenflächen der Ausnehmung bei Raumtemperatur luftspaltbildend umfaßt ist. Die erfindungsgemäße Verwendung von Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> als Permanentmagnetmaterial gewährleistet vorteilhafte eine hohe und temperaturstabile Remanenz. In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung besteht der Träger aus einem weichmagnetischen Pulververbundwerkstoff mit geringer elektrischer Leitfähigkeit und hoher Temperaturfestigkeit, z. B.

Corovac OF (Firma Vakuumschmelze) und ist mit dem Permanentmagneten ausschließlich magnetisch gehalten verbunden. Dabei ist es besonders vorteilhaft, den Träger als sich zur Werkstückoberfläche hin verjüngenden Kegelstumpf auszubilden. Alternativ dazu kann der Träger auch aus einem temperaturfesten unmagnetischen Material bestehen, z. B. aus Keramik oder aus einer temperaturfesten, strahlenresistenten und wasserdichten Kunststoffverbindung. Hierzu ist PEEKK besonders geeignet. In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist der Träger kammartig mit zur Werkstückoberfläche hin offenen Nuten ausgebildet. Das Koaxialkabel ist vorteilhafterweise stahlummantelt und an der Öffnung mit dem Gehäuse verschweißt. Die isolierten Lötstellen sind dabei in weiterer Ausgestaltung mit dem Gehäuse fest verbunden.

Zur wahlweisen Anbringung von Sende- und Empfangswandlerspule auf einem gemeinsamen Träger sind im Träger zwei elektrisch unabhängige Wandlerspulen angeordnet. Zur Gewährleistung einer flexiblen Verbindung zwischen Koaxialkabel und Wandlerspule ist in vorteilhafter Ausgestaltung mindestens das mit einer der Leitungssadern des Koaxialkabels flexibel verbundene Drahtende der Wandlerspule als Drahtschlaufe ausgebildet.

Bei einer Ultraschalleinrichtung bestehend aus einer Mehrzahl von elektrodynamischen Ultraschallwandlern nach Anspruch 1, bei der einer der Ultraschallwandler als Sender und mindestens ein weiterer Ultraschallwandler als Empfänger ansteuerbar ist, wobei die Wicklungen der Wandlerspulen mäanderförmig und weitgehend parallel zur einer Werkstückoberfläche angeordnet sind und über elektrische Anschlüsse mit einer Signalauslöse- und Signalverarbeitungseinheit verbunden sind, wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die elektrischen Anschlüsse aus Koaxialkabeln mit mehr als 10 m Länge bestehen, daß die Wandlerspule des Senders und des Empfängers aus jeweils mehreren Mäanderelementen besteht, daß die Windungszahl jeder Wandlerspule so gewählt ist, daß der Scheinwiderstand der Wandlerspule den Scheinwiderstand des Koaxialkabels und der Eingänge der Signalauslöse- und Signalverarbeitungseinheit kompensiert, wobei die Mäanderelemente des Senders jeweils eine höhere Windungszahl aufweisen, als die jeweiligen Mäanderelemente des Empfängers. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Ultraschalleinrichtung ergibt sich daraus, daß bei der Verwendung eines jeweils 80 m langen Koaxialkabels die Wandlerspule des Senders aus drei Mäanderelementen besteht mit je 15 Windungen und die Wandlerspule des Empfängers aus drei Mäanderelementen mit je 7 Windungen besteht und daß dabei die Spurwellenlänge 8 mm und die Windungslänge 27 mm beträgt.

Sämtliche entstehenden Induktivitäten und Kapazitäten kompensieren sich hierbei derart, daß die gesamte elektrische Anordnung ohmsch ist.

Die besondere Eignung des erfindungsgemäßen elektrodynamischen Ultraschallwandlers für hohe Temperaturen und extreme Einsatzbedingungen resultiert aus der Tatsache, daß lediglich das Koaxialkabel selbst und die isolierten Lötstellen mit dem Gehäuse fest verbunden sind. Alle anderen Verbindungen sind im wesentlichen durch magnetische Kräfte bewerkstelligt. Durch die Verwendung von Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> als Permanentmagnetenmaterial ist gewährleistet, daß dieser Magnet die für die ortsfesten Verbindungen der einzelnen Teile nötigen Kräfte aufbringt. Die Verwendung von Corovac OF als Material für den Träger der Wandlerspule gewährleistet durch die Eigenschaft seiner geringen elektrischen Leitfähigkeit, daß im Prinzip keine Ultraschallwellen in den Wandler selbst eingekoppelt oder in dem Wandler selbst erzeugt werden. Dies führt dann vorteilhafter Weise dazu, daß eine Verschiebung der einzelnen Teile des Wandlers durch ultraschallbedingte Vibrationen verhindert wird. Die hohe Temperaturfestigkeit des Materials Corovac OF gewährleistet somit auch den störungsfreien Betrieb bei hohen Temperaturen, etwa bis 300 Grad Celsius. Durch die durch ausschließlich magnetische Kräfte bewerkstelligte Verbindung der Einzelteile untereinander ist in besonders vorteilhafter Weise gewährleistet, daß selbst bei teilweise stark unterschiedlichen Temperaturausdehnungskoeffizienten keine mechanischen Spannungen im Wandler entstehen. Dieser Vorteil kommt besonders dann zum Tragen, wenn der Wandler kurzzeitig hohen Temperaturunterschieden bzw. Temperaturzyklen ausgesetzt ist. Die Verwendung des Kunststoffs PEEKK (beispielsweise Hostatec der Firma Hoechst) gewährleistet dabei im Isolationsbereich nicht nur eine hohe Temperaturfestigkeit, sondern setzt hier vorteilhaft die Eigenschaften der Strahlenresistenz und Spritzwasserresistenz im gesamten Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und 300 Grad Celsius ein. Bei der Verwendung von Corovac OF erweist es sich als ganz besonders vorteilhaft, den Träger als sich zur Werkstückoberfläche hin verjüngenden Kegelstumpf auszubilden. Der Vorteil ergibt sich daraus, daß ein derart ausgerichteter Kegelstumpf die Eigenschaft hat, als Konzentrator für Magnetfeldlinien zu wirken. Durch diese Maßnahme kann die Oberflächenfeldstärke im Bereich des Ultraschallzeugungsortes wesentlich erhöht werden, was dazu führt, daß größere Ultraschallamplituden erreichbar sind.

Alternativ zu der Verwendung von Corovac OF als Material für den Träger ist es möglich Keramik oder PEEKK einzusetzen. Hierbei wird die Verbindung zwischen Träger und Permanentmagnet

durch entsprechend temperaturfesten Klebstoff be werkstelltig.

Die kammartige Ausgestaltung des Trägers mit zur Werkstückoberfläche hin offenen Nuten hat den Vorteil, die Wandlerspulendrähte in sehr einfacher Weise aufzunehmen und die Energieübertragung zwischen Werkstückoberfläche und Wandlerspule zu erleichtern. Der Einsatz des stahlummantelten Koaxialkabels, welches an der Öffnung mit dem Gehäuse verschweißt ist, gewährleistet einen stör unempfindlichen Betrieb bei einer beispielsweise ortsfesten Installation, selbst bei Einsatzbedingungen gemäß der Aufgabenstellung.

Die Tatsache, daß die isolierten Lötstellen mit dem Gehäuse fest verbunden sind, hat den Vorteil, daß die elektrischen Anschlüsse innerhalb des Wandlers bei hinreichender Flexibilität trotzdem ortsfest angebracht sind. Dies reduziert im übrigen die Störanfälligkeit des Wandlers.

Die Anordnung von zwei elektrisch unabhängigen Wandlerspulen auf einem gemeinsamen Träger hat den Vorteil, daß Sende- und Empfangsort auf einen gemeinsamen Ultraschallwandler konzentriert sind. Beim Einsatz des elektrodynamischen Ultraschallwandlers bei hohen Temperaturzyklen wird die ortsfeste Anordnung der Einzelteile unter gleichzeitiger Maßgabe einer mechanisch spannungs freien Verbindung dadurch gewährleistet, daß das Gehäuse an der Fläche, die an der Polfläche des Permanentmagneten anliegt, eine Ausnehmung aufweist, dessen zu der Polfläche parallele Erstreckung so groß ist, daß der Permanentmagnet an den Seitenflächen um diese Polfläche herum bei Raumtemperatur luftspaltbildend umfaßt ist. Dieser Lufts palt kann dabei so gewählt sein, daß sich dieser beim Einsatz einer angegebenen Höchsttemperatur schließt. Unter diesen genannten Voraussetzungen thermischer Ausdehnungseffekte, erweist es sich als besonders vorteilhaft, daß mindestens das mit einer der Leitungsdänen des Koaxialkabels flexibel verbundene Drahtende der Wandlerspule als Draht schlaufe ausgebildet ist.

Der Vorteil bei der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Ultraschalleinrichtung besteht darin, daß speziell für den Einsatz in bzw. an bis zu 300 Grad Celsius warmen Anlagen die Signalauslöse- bzw. Signalverarbeitungseinheit in erheblicher Entfernung zum Sender bzw. Empfänger angeordnet werden kann. Dabei ist wesentlich, daß auf eine Aufbereitung des Signals beispielsweise durch Vor verstärker verzichtet werden kann. Das hochfre quente Signal, mit einer Amplitude von etwa 1 mV kann über die gesamte Entfernung zwischen Wandler und Signalverarbeitung ohne elektronischen Aufwand übertragen werden. Die erfindungsgemäß vorgeschlagene elektrische Anpassung führt dazu, daß selbst unter diesen extremen Bedingungen ein störungsfreier Betrieb gewährleistet

ist. Aus der Verwendung der bezüglich des Koaxialkabels erfindungsgemäß abgestimmten Wandlerspule ergibt sich eine besonders vorteilhafte Eignung für eine beispielsweise ortsfeste Installation einer Mehrzahl von Sender und Empfänger in einer Anlage.

Die vorgeschlagene Ultraschalleinrichtung eignet sich daher besonders zur Überprüfung von Füllständen und Durchflüssen in heißen Behältnissen. Die übrigen Eigenschaften führen zusätzlich zu einer besonderen Eignung für den Einsatz in Kraftwerken. Die einzelnen Ultraschallwandler, die beispielsweise in einem Rohrleitungssystem eines Kraftwerks zu einer überprüfenden Einrichtung eingesetzt sind, können durch die Ansprechbarkeit über die beispielsweise 80 m langen Kabel in einem Überwachungsleitstand zusammengefaßt werden.

Die Erfindung ist anhand von Zeichnungen nachstehend näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 Aufbau elektrodynamischer Ultraschallwandler,

Figur 2 Träger aus Keramik oder PEEKK,

Figur 3 elektrodynamischer Ultraschallwandler für die Senkrechteinschallung.

Figur 1 zeigt den elektrodynamischen Ultraschallwandler in Schnittdarstellung. Das aus Weicheisen bestehende Gehäuse 2 besitzt dort eine Ausnehmung 11 bzw. seitliche Haltevorsprünge, wo der Permanentmagnet 3 anliegt. Diese Ausnehmung 11 bzw. diese Vorsprünge sind in ihrer Dimensionierung so ausgelegt, daß bei Raumtemperatur zwischen den Seitenflächen des Magneten 3 und der Vorsprünge 11 ein Lufts palt vorhanden ist. Dies gewährleistet, daß auch bei den vorliegenden Materialien trotz unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten bei höherer Temperatur keine mechanische Verspannung entsteht. Die Tiefe der Ausnehmung 11 bzw. die Vorsprünge sind in ihrer Dimensionierung jedoch so gestaltet, daß trotzdem eine Soll-Position des Permanentmagneten 3 innerhalb des Gehäuses 2 gegeben ist. Das Koaxialkabel 7 ist in dieser Darstellung seitlich durch eine Bohrung 8 im Gehäuse 2 hindurchgeführt und an der Au ßenseite des Gehäuses wasser dicht verklebt. Die Signalleitung 12 des Koaxialkabels 7 reicht in den Innenraum des Gehäuses 2 hinein und bildet über eine Hartlötverbindung und eine Drahtschlaufe 9 den elektrischen Kontakt mit den Wandlerdrähten. Die Hartlötstelle ist hierbei großzügig mit einem Klotz 13 aus PEEKK isoliert und vergossen. Der Klotz 13 ist dabei in der Nähe der Eintrittsstelle des Koaxialkabels in das Gehäuse 2 mit der Gehäuseinnenwandung fest verklebt. Zur Bewerkstellung einer flexiblen Verbindung zwischen Lötstelle und Wandlerspule ist eines der losen Wandlerdrahtenden 9, beispielsweise als Schlaufe bis zur Hart-

Lötstelle hingeführt. Dieser Draht 9 ist wie die Drähte der Wandlerspule 5 mit PEEKK isoliert. Der Träger 6 für die Wandlerspule 5 ist so ausgestaltet und angeordnet, daß derselbe über eine glatte ebene Fläche in dargestellter Position an dem Permanentmagneten 3 anliegt und an der der Werkstückoberfläche 1 zugewandten Seite die kammartige Verzahnung aufweist, in denen die Wandlerdrähte 5 angeordnet sind. Der Träger 6 besteht hierbei aus Corovac OF. Die Magnetfeldlinien werden vom Permanentmagneten 3 über den Träger 6 in die Werkstückoberfläche 1 eingebracht, wobei das Weicheisengehäuse 2 dann den nötigen magnetischen Rückschluß der Feldlinien bewirkt. Alle magnetischen Einzelteile, d. h. Gehäuse 2, Permanentmagnet 3 und Corovac-Träger 6 sind ausschließlich über magnetische Kräfte zusammengehalten. Die einzigen festen Verbindungen bestehen zwischen Koaxialkabel 7 bis Gehäuse 2 und Lötstelle 10 bis Gehäuse 2. Der gesamte Ultraschallwandler ist in dieser Ausgestaltung selbst bei unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten in einem Temperaturbereich bis zu 300 Grad Celsius frei von mechanischen Spannungen und somit auch frei von dadurch möglichen Betriebsstörungen. Das verwendete Permanentmagnetmaterial Sm2CO17 besitzt die spezifische Eigenschaft, die hohe Remanenz auch im genannten Temperaturbereich zu erhalten. Die Verwendung des Isolationsmaterials PEEKK gewährleistet die Spritzwasser- und Strahlenresistenz selbst bei höheren Temperaturen, d. h. bis zu 320 Grad Celsius.

Figur 2 zeigt eine Detailzeichnung des Trägers. Die Seitenansicht stellt den Träger 6 ähnlich wie in Figur 1 dar. Der Träger 6 ist so ausgestaltet, daß in der Draufsicht entlang der Linie A-A im Randbereich der Längsseiten 14 ebenfalls eine kammartige Verzahnung entsteht. Eine Ausgestaltung dieser Art ist aber nur bei der Verwendung von unmagnetischen Materialien relevant, wie z. B. Keramik oder PEEKK. Bei der Verwendung von Corovac wäre eine Ausgestaltung des Trägers, wie sie die Draufsicht zeigt, nicht geeignet, weil an den zusätzlichen kammartigen Verzahnungen stark inhomogene Magnetfeldlinienverläufe auftreten würden.

Figur 3 zeigt einen elektrodynamischen Ultraschallwandler für den speziellen Einsatzfall der Senkrechteinschallung. Sende- und Empfangsspule sind hierbei auf einen gemeinsamen Träger 6 aus Corovac gewickelt. Das Koaxialkabel 7 ist in diesem Fall mehradrig ausgeführt, d. h. hier mit zwei Signalleitungen 12,12' versehen. Die sich ergebenen Lötverbindungen sind dabei in einem gemeinsamen Isolationsblock 13 aus PEEKK gebettet und wie in Figur 1 dargestellt mit der Gehäuseinnenwand verbunden. Der Träger 6 der in diesem Falle aus Corovac OF besteht ist kegelstumpfförmig ausgestaltet und so ausgerichtet, daß sich der Kegel-

stumpf zur Werkstückoberfläche 1 hin verjüngt. Die somit erzielte Konzentratorwirkung verbessert dabei die Effizienz der Ultraschallerzeugung. Die gemeinsame Anordnung von Sende- und Empfangswandlerspule in einem gemeinsamen Ultraschallwandler ist dabei nicht zwingend, d. h. Sende- und Empfangswandlerspule können auch in verschiedenen Ultraschallwandlern untergebracht werden.

## 10 Patentansprüche

1. Elektrodynamischer Ultraschallwandler bestehend aus einem an eine Werkstückoberfläche (1) anzulegenden Magnetsystem mit Permanentmagnet (3), einer in der Nähe der Werkstückoberfläche (1) und des Permanentmagneten (3) angeordneten Wandlerspule (5) und einem elektrischen Anschluß,  
**dadurch gekennzeichnet,**
  - daß das Magnetsystem aus einem weichmagnetischen zur Werkstückoberfläche (1) hin offenen, den magnetischen Rückschluß bildenden Gehäuse (2) besteht, innerhalb dessen der Permanentmagnet (3) mit seiner Polachse (4) senkrecht zur Werkstückoberfläche (1) ausgerichtet ist und mit der der Werkstückoberfläche abgewandten Polfläche (3') am Gehäuse innen ausschließlich magnetisch gehalten anliegt und mit der anderen Polfläche (3'') mit einem die Wandlerspule (5) aufnehmenden Träger (6) verbunden ist,
  - daß sich der aus einem ein- oder mehradrigen Koaxialkabel (7) bestehende elektrische Anschluß durch eine Öffnung (8) im Gehäuse (2) hindurcherstreckt und mit demselben fest verbunden ist,
  - daß mindestens ein freies Drahtende (9) der Wandlerspule (5) flexibel und mit jeweils einer der Leitungsdänen des Koaxialkabels (7) verbunden ist und an der bzw. den Kontaktstellen (10,10') hartverlötet und die Lötstellen und die Wandlerspulenrähte (5) mit einem hochtemperaturfesten Kunststoff isoliert sind.
2. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Gehäuse (2) dosenförmig ausgestaltet ist und aus Weicheisen besteht.
3. Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach Anspruch 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Gehäuse (2) an der Fläche, die an der Polfläche (3') des Permanentmagneten (3) anliegt, eine Ausnehmung (11) aufweist, dessen

- zu der Polfläche (3') parallele Erstreckung so groß ist, daß der Rand dieser Polfläche (3') von den Seitenflächen der Ausnehmung (11) bei Raumtemperatur luftspaltbildend umfaßt ist.
- 4.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 bis 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß der Permanentmagnet (3) aus  $\text{Sm}_2\text{CO}_{17}$  besteht. 10
- 5.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß der Träger (6) aus einem weichmagnetischen Pulververbundwerkstoff mit geringer elektrischer Leitfähigkeit und hoher Temperaturfestigkeit besteht und mit dem Permanentmagneten (3) ausschließlich magnetisch gehalten verbunden ist. 15
- 6.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach Anspruch 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß der Träger (6) als sich zur Werkstückoberfläche (1) hin verjüngender Kegelstumpf ausgebildet ist. 20
- 7.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß der Träger (6) aus einem temperaturfesten, wasserdichten und strahlungsresistenten Kunststoff besteht. 30
- 8.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß der Träger (6) aus Keramik besteht. 35
- 9.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß der Träger (6) kammartige zur Werkstückoberfläche (1) hin offene Nuten (6') aufweist. 40
- 10.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß das Koaxialkabel (7) stahlummantelt und an der Öffnung (8) mit dem Gehäuse (2) verschweißt ist. 50
- 11.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, 55
- dadurch gekennzeichnet,**  
 daß die isolierten Lötstellen (10,10') mit dem Gehäuse fest verbunden sind.
- 12.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß im Träger (6) zwei elektrisch unabhängige Wandlerspulen angeordnet sind. 10
- 13.** Elektrodynamischer Ultraschallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß mindestens das mit einer der Leitungsdänen des Koaxialkabels flexibel verbundene Drahtende der Wandlerspule als Drahtschlaufe ausgebildet ist. 20
- 14.** Ultraschalleinrichtung bestehend aus einer Mehrzahl von elektrodynamischen Ultraschallwandlern nach Anspruch 1, bei der einer der Ultraschallwandler als Sender und mindestens ein weiterer Ultraschallwandler als Empfänger ansteuerbar ist, wobei die Wicklungen der Wandlerspulen (5) mäanderförmig und weitgehend parallel zu einer Werkstückoberfläche (1) angeordnet sind und über elektrische Anschlüsse mit einer Signalauslöse- und Signalverarbeitungseinheit verbunden sind,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß die elektrischen Anschlüsse aus Koaxialkabeln (7) mit mehr als 10 m Länge bestehen, daß die Wandlerspule (5) des Senders und des Empfängers aus jeweils mehreren Mäanderelementen besteht, daß die Windungszahl jeder Wandlerspule so gewählt ist, daß der Scheinwiderstand der Wandlerspule den Scheinwiderstand des Koaxialkabels und der Eingänge der Signalauslöse- und Signalverarbeitungseinheit kompensiert, wobei die Mäanderelemente des Senders jeweils eine höhere Windungszahl aufweisen, als die jeweiligen Mäanderelemente des Empfängers. 30
- 15.** Elektrodynamische Ultraschalleinrichtung nach Anspruch 13,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 daß bei der Verwendung eines 80 m langen Koaxialkabels (7) die Wandlerspule (5) des Senders aus drei Mäanderelementen mit je 15 Windungen und die Wandlerspule (5) des Empfängers aus drei Mäanderelementen mit je 7 Windungen besteht und daß dabei die Spurwellenlänge der Wandlerspule 8 mm und die Windungslänge 27 mm beträgt. 40

## Claims

1. Electrodynamic ultrasonic transducer consisting of a magnet system to be applied to a workpiece surface (1) with a permanent magnet (3), a transducer coil (5) disposed in the vicinity of the workpiece surface (1) and the permanent magnet (3), and an electrical connection, characterised in that
  - the magnet system consists of a soft magnetic housing (2) open to the workpiece surface (1) and forming the magnetic return, inside which the permanent magnet (3) is aligned with its pole axis (4) perpendicular to the workpiece surface (1) and lies with the pole face (3') remote from the workpiece surface on the housing on the inside held entirely magnetically and is connected with the other pole face (3'') with a carrier (6) accommodating the transducer coil (5),
  - in that the electrical connection consisting of a single-wire or multi-wire coaxial cable (7) extends through an opening (8) in the housing (2) and is connected securely with it,
  - in that at least one free wire end (9) of the transducer coil (5) is connected flexibly with one of the wires of the coaxial cable (7) and is hard-soldered to the contact or contacts (10, 10' ..) and the soldered joints and the transducer coil wires (5) are insulated with a plastic resistant to high temperature.
2. Electromagnetic ultrasonic transducer according to claim 1, characterised in that the housing (2) is can-shaped and consists of soft iron.
3. Electrodynamic ultrasonic transducer according to claim 2, characterised in that on the face which lies on the pole face (3') of the permanent magnet (3) the housing (2) exhibits a recess (11) the extension of which parallel to the pole face (3') is so large that the edge of this pole face (3') is surrounded by the side faces of the recess (11) forming an air gap at room temperature.
4. Electrodynamic ultrasonic transducer according to claims 1 to 3, characterised in that the permanent magnet (3) is made of Sm<sub>2</sub>CO<sub>17</sub>.
5. Electrodynamic ultrasonic transducer according to claims 1 to 4, characterised in that the carrier (6) consists of a soft magnetic powder composite material with low electrical conductivity and high temperature resistance and is connected with the permanent magnet (3) held entirely magnetically.
6. Electrodynamic ultrasonic transducer according to claim 5, characterised in that the carrier (6) takes the form of a truncated cone tapering towards the workpiece surface (1).
7. Electrodynamic ultrasonic transducer according to claims 1 to 4, characterised in that the carrier (6) consists of a temperature-resistant, waterproof and radiation-resistant plastic.
8. Electrodynamic ultrasonic transducer according to claims 1 to 4, characterised in that the carrier (6) consists of ceramic material.
9. Electrodynamic ultrasonic transducer according to one or more of the preceding claims, characterised in that the carrier (6) exhibits comb-like grooves (6') open to the workpiece surface (1).
10. Electrodynamic ultrasonic transducer according to one or more of the preceding claims, characterised in that the coaxial cable (7) is sheathed in steel and at the opening (8) welded with the housing (2).
11. Electrodynamic ultrasonic transducer according to one or more of the preceding claims, characterised in that the insulated soldered joints (10, 10' ..) are connected securely with the housing.
12. Electrodynamic ultrasonic transducer according to one or more of the preceding claims, characterised in that two electrically independent transducer coils are disposed in the carrier (6).
13. Electrodynamic ultrasonic transducer according to one or more of the preceding claims, characterised in that at least the wire end of the transducer coil connected flexibly with one of the wires of the coaxial cable takes the form of a wire loop.
14. Ultrasonic device consisting of a plurality of electrodynamic ultrasonic transducers according to claim 1, in which one of the ultrasonic transducers can be actuated as transmitter and at least one other ultrasonic transducer can be actuated as receiver, the windings of the transducer coils (5) being disposed in a meander shape and substantially parallel with a workpiece surface (1) and connected by means of electrical connections with a signal triggering

and signal processing unit, characterized in that the electrical connections consist of coaxial cables (7) with a length of more than 10 m, in that the transducer coil (5) of the transmitter and of the receiver consists in each case of a plurality of meander elements, in that the number of turns of each transducer coil is selected so that the impedance of the transducer coil offsets the impedance of the coaxial cable and the inputs of the signal triggering and signal processing unit, the meander elements of the transmitter in each case exhibiting a higher number of turns than the corresponding meander elements of the receiver.

15. Electrodynamic ultrasonic device according to claim 13, characterized in that when a coaxial cable (7) with a length of 80 m is used the transducer coil (5) of the transmitter consists of three meander elements each with 15 turns and the transducer coil (5) of the receiver consists of three meander elements each with 7 turns and in that the track wavelength of the transducer coil is 8 mm and the turn length 27 mm.

## Revendications

1. Transducteur électrodynamique à ultrasons, comportant un système magnétique muni d'un aimant permanent (3) et devant être disposé sur la surface (1) d'une pièce, une bobine transductrice (5) agencée à proximité de la surface de la pièce (1) et de l'aimant permanent (3), et un raccord électrique, caractérisé
  - en ce que le système magnétique est constitué d'un boîtier (2) magnétique doux, ouvert vers la surface de la pièce (1) et formant le retour magnétique, à l'intérieur duquel est disposé l'aimant permanent (3) avec son axe polaire (4) perpendiculairement à la surface de la pièce (1), lequel repose en étant maintenu essentiellement de façon magnétique, par la face polaire (3') opposée à la surface de la pièce, contre le boîtier à l'intérieur et est relié par l'autre face polaire (3'') à un support (6) portant la bobine transductrice (5),
  - en ce que le raccord électrique constitué d'un câble coaxial (7) à un ou plusieurs brins traverse une ouverture (8) dans le boîtier (2) et est solidaire de ce dernier,
  - en ce qu'au moins une extrémité de fil libre (9) de la bobine transductrice (5) est flexible et est reliée à chaque fois à l'un des brins conducteurs du câble coaxial (7) et est brasée à la ou aux zones de contact (10,10'...), et les zones de brasage et les fils de la bobine transductrice (5) sont isolés par une matière synthétique résistant à des températures élevées.
2. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon la revendication 1, caractérisé en ce que le boîtier (2) est réalisé en forme de boîte et constitué de fer doux.
3. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon la revendication 2, caractérisé en ce que le boîtier (2) présente un évidement (11) sur la face qui repose contre la face polaire (3') de l'aimant permanent (3), évidemment dont l'extension parallèle à la face polaire (3') est telle que le bord de cette face polaire (3') est entouré des faces latérales de l'évidement (11) de manière à former une fente d'air à température ambiante.
4. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'aimant permanent (3) est constitué de  $\text{Sm}_2\text{CO}_{17}$ .
5. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le support (6) est constitué d'un matériau composite en poudre, magnétique doux, présentant une conductibilité électrique faible et une résistance à la température élevée et est relié aux aimants permanents (3) en étant maintenu essentiellement magnétiquement.
6. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon la revendication 5, caractérisé en ce que le support (6) est réalisé sous forme d'un tronc de cône rétrécissant vers la surface de la pièce (1).
7. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le support (6) est constitué d'un matériau résistant à la température, étanche à l'eau et résistant au rayonnement.
8. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le support (6) est réalisé en céramique.
9. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes,

- caractérisé en ce que le support (6) présente des gorges (6') sous forme de dents, ouvertes vers la surface de la pièce (1).
10. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes,  
caractérisé en ce que le câble coaxial (7) est revêtu d'acier et est soudé au niveau de l'ouverture (8) au boîtier (2).
11. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes,  
caractérisé en ce que les zones de brasage isolées (10,10'...) sont solidaires du boîtier.
12. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes,  
caractérisé en ce que deux bobines transductrices électriquement indépendantes sont agencées dans le support (6).
13. Transducteur électrodynamique à ultrasons selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes,  
caractérisé en ce qu'au moins l'extrémité de fil de la bobine transductrice, reliée de façon flexible à l'un des brins conducteurs du câble coaxial, est réalisée sous forme de boucle.
14. Dispositif à ultrasons constitué d'une pluralité de transducteurs électrodynamiques à ultrasons selon la revendication 1, dans lequel l'un des transducteurs à ultrasons peut être commandé en tant qu'émetteur et au moins un autre transducteur à ultrasons peut être commandé en tant que récepteur, les enroulements des bobines transductrices (5) étant agencés sous forme de méandres et de façon largement parallèle à une surface de pièce (1) et étant reliés par l'intermédiaire de raccords électriques à une unité de déclenchement de signal et de traitement de signal,  
caractérisé en ce que les raccords électriques sont constitués de câbles coaxiaux (7) de plus de 10 m de long, en ce que la bobine transductrice (5) de l'émetteur et du récepteur est constituée à chaque fois de plusieurs éléments en forme de méandres, en ce que le nombre de spires de chaque bobine transductrice est choisi de sorte que la résistance apparente de la bobine transductrice compense la résistance apparente du câble coaxial et des entrées de l'unité de déclenchement de signal et de traitement de signal, les éléments en forme de méandres de l'émetteur présentant à chaque fois un nombre de spires plus élevé que les éléments correspondants en forme de méandres du récepteur.
- 5      15. Dispositif électrodynamique à ultrasons selon la revendication 13,  
caractérisé en ce que, lors de l'utilisation d'un câble coaxial (7) de 80 m de long, la bobine transductrice (5) de l'émetteur est formée de trois éléments en forme de méandres comportant à chaque fois 15 spires et la bobine transductrice (5) du récepteur est formée de trois éléments en forme de méandres comportant à chaque fois 7 spires, et en ce que de plus le pas de la bobine transductrice est égal à 8 mm et la longueur des spires à 27 mm.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

Fig.1

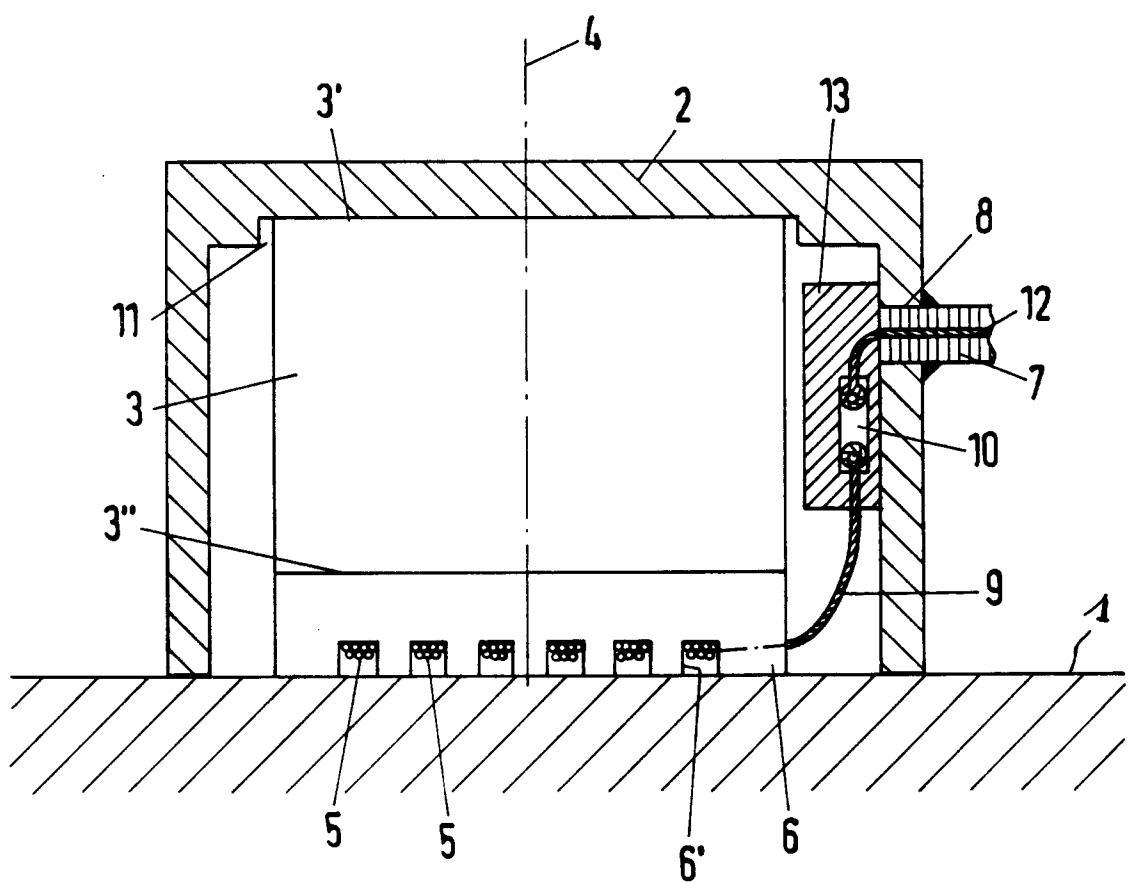


Fig. 2

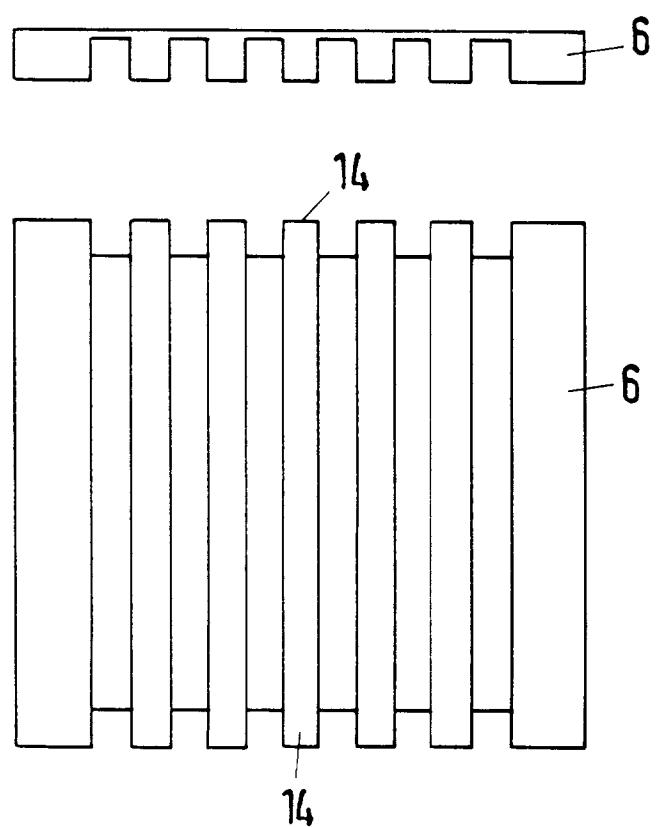


Fig.3

