(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 864 811 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
16.09.1998 Patentblatt 1998/38

(51) Int. Cl.[6]: **F23C 11/04**

(21) Anmeldenummer: **98101586.0**

(22) Anmeldetag: **30.01.1998**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **11.03.1997 DE 19709918**

(71) Anmelder:
Dornier Medizintechnik GmbH
82101 Germering (DE)

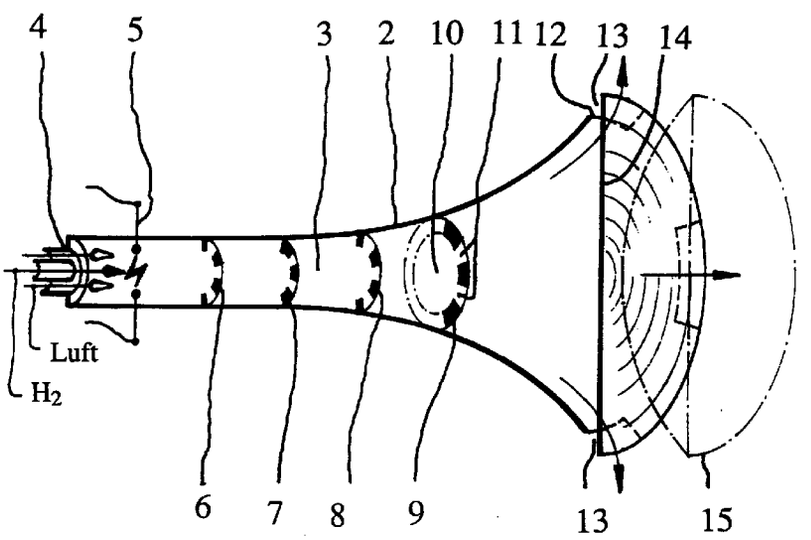
(72) Erfinder:
Eizenhöfer, Harald, Dipl.-Phys.
82229 Seefeld (DE)

(74) Vertreter: **Hummel, Adam**
Daimler-Benz AG
FTP/M
Postfach 80 04 65
81663 München (DE)

(54) Hochleistungs-Druckwellenquelle

(57) Hochleistungs-Druckwellenquelle zur Erzeugung wiederholbarer Druckwellen durch Zündung eines brennbaren Fluidgemisches sowie durch Erhöhung seiner Abbrandgeschwindigkeit bis zur Detonation.

Die Hochleistungs-Druckwellenquelle besitzt einen zu einem Ende hin erweiterten, eine Verbrennungskammer (3) bildenden Kanal, eine Zuführeinrichtung (4) für die Komponenten des Fluidgemisches und eine Zündeinrichtung (5) im Bereich des engen Kanalendes, eine Abführeinrichtung (12) für das Abgas im Bereich des weiten Kanalendes und eine das weite Kanalende stirnseitig abschließende Membran (14) sowie mehrere über die Kanallänge verteilte Wirbelerzeuger (6-9).



EP 0 864 811 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Hochleistungs-Druckwellenquelle zur Erzeugung einzelner hochenergetischer, in kurzen Zeitabständen wiederholbarer Druckwellen jeweils durch Zündung eines definierten Volumens eines brennbaren Fluidgemisches, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Druck- und Stoßwellenquellen mit relativ niedriger Leistung (etwa 10 bis 100 mJ) sind insbesondere aus der Medizintechnik bekannt, z.B. in Form von Lithotriptern. Aktuelle Versionen arbeiten in der Regel nach dem elektromagnetischen Prinzip, wobei mittels einer Spule-/Membran-Einheit ebene, fokussierbare Druckwellen erzeugt werden.

Für nichtmedizinische, insbesondere industrielle Anwendungen besteht ein Bedarf nach einer wesentlich höheren Druckwellenenergie (etwa 50- bis 100-fach größer). Eine einfache Vergrößerung/Skalierung der bekannten elektromagnetischen Stoßwellenquellen ist wegen ihres schlechten Wirkungsgrades nicht sinnvoll.

Aus der DE-OS 39 21 808 ist eine Vorrichtung zur fokussierten Stoßwellenbehandlung von Tumoren bekannt, mit verschiedenen Möglichkeiten zur Stoßwellenerzeugung, z.B. mittels eines explosiven Gasgemisches (siehe Anspruch 10). Es werden aber keine Hinweise zur konstruktiven Verwirklichung dieses Prinzips gegeben.

Auch bei Hubkolbenmotoren werden Druckwellen durch Zünden brennbarer Fluidgemische erzeugt, wobei der Zündvorgang in kurzen Zeitabständen beliebig oft wiederholbar ist. Das Fluidgemisch, zumindest der Luftanteil, wird stark verdichtet (Faktor > 10), die Verbrennung wird durch elektrische Funkenzündung oder Einspritzen des Brennstoffes eingeleitet. Dabei wird generell eine "weiche", nicht zu schnelle Verbrennung angestrebt, da detonationsartige Brennvorgänge die Motorbauteile (Kolben, Pleuel, Lager etc.) mechanisch überlasten würden. Eine Übertragung dieses Verdichtungsprinzips auf andere Druckwellenquellen wäre konstruktiv und energetisch relativ aufwendig, d.h. wenig wirtschaftlich.

Es ist bekannt, Wasserstoff-Luft-Gemische bei atmospärischem Druck zu zünden und die zunächst langsame, laminare Verbrennung (Deflagration) mit geringer Druckerhöhung durch strömungstechnische Maßnahmen (Wirbelerzeuger/Strömungshindemisse) über eine schnelle turbulente Verbrennung bis hin zur Detonation mit hohen Druckspitzen zu beschleunigen. Dieses Prinzip wird versuchstechnisch genutzt, um die möglicherweise bei Kernkraftwerksunfällen (Kernschmelzen, Wasserstofffreisetzung) auftretenden Verhältnisse und Belastungen im Reaktorgebäude zu simulieren. Siehe hierzu die Zeitschrift "NACHRICHTEN"-Forschungszentrum Karlsruhe Jahrgang 28 2-3/96 Seiten 175 bis 191. Zu diesem Zweck wurden große rohrförmige bzw. kanalartige Verbrennungskammern mit 12 m und 70 m Länge und mit variablen, strömungstechnisch wirksamen Einbauten/Geometrien errichtet, wobei die kleinere Anlage (FZK) in Deutschland, die größere (RUT) in Rußland steht.

Ausgehend von dem dort in großen Dimensionen verwirklichten Prinzip der Verbrennungsbeschleunigung bis zur Detonation besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Hochleistungs-Druckwellenquelle mit kurzer Pulsdauer und guter Wiederholrate zu schaffen, welche relativ einfach, handlich, robust und preiswert ist und welche sicher, zuverlässig und wirtschaftlich arbeitet.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst, in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen in dessen Oberbegriff.

Die Druckwellenquelle umfaßt eine Verbrennungskammer in Form eines Kanales definierter Länge mit einem querschnittsmäßig erweiterten Ende. Den stirnseitigen Abschluß des weiten Kanalendes bildet eine als akustisches Übertragungselement fungierende Membran, wobei in deren Bereich eine Abführeinrichtung für das Abgas vorhanden ist. Das enge Kanalende dient der Zufuhr der Gemischkomponenten sowie der Zündung. Zwischen dem engen und dem weiten Kanalende sind Wirbelerzeuger vorgesehen, welche den Abbrandvorgang bis zur Detonation beschleunigen. Durch die geometrischen/volumetrischen Verhältnisse wird erreicht, daß der Großteil des Gemisches sich im Bereich der Membran befindet, dort detonationsartig abbrennt und somit die Druckwellenerzeugung bewirkt. Mit der Membran kann im Einsatzfall ein beliebiges, akustisch leitendes Medium (z.B. fest, flüssig, gelartig, gummiartig) in Kontakt stehen. Es können sich auch Elemente zur Fokussierung der von der Membran ausgehenden Druckwellen anschließen.

Die Unteransprüche 2 bis 9 beinhalten bevorzugte Ausgestaltungen der Hochleistungs-Druckwellenquelle nach dem Hauptanspruch.

Die Erfindung wird anschließend anhand der Zeichnung noch näher erläutert.

Diese zeigt in stark vereinfachter, perspektivischer Darstellung - mit Blickrichtung von rechts nach links im spitzen Winkel auf die Zeichenebene - einen Längsmittelschnitt durch eine Hochleistungs-Druckwellenquelle.

Die Hochleistungs-Druckwellenquelle 1 - im folgenden vereinfacht nur Druckwellenquelle 1 genannt - besteht großteils aus einem Rohr 2 mit über die Länge variierendem, rundem Querschnitt, welches sowohl ein tragendes Gehäuse als auch einen Strömungskanal/eine Verbrennungskammer 3 bildet. Die Durchströmung erfolgt von links nach rechts, d.h. vom engen zum trompetenartig erweiterten Rohrende. Das enge Rohrende ist mit einer Zufähreinrichtung 4 für die Komponenten eines brennbaren Fluidgemisches, hier Luft und Wasserstoff (H_2), versehen, wobei die Zufuhr im Betrieb kontinuierlich oder intermittierend erfolgen kann. Die dargestellte, koaxiale Zuströmung der Komponenten in Rohrlängsrichtung erscheint vorteilhaft, sie ist aber nur

eine von vielen denkbaren Zuströmvarianten. Wichtig ist in jedem Fall, daß schnell und auf kurzem Weg ein möglichst homogenes Fluidgemisch erzeugt wird. Das Fluidgemisch besteht mindestens aus einem Brennstoff und einem Oxidator, wobei das Abbrandverhalten über das Mischungsverhältnis, d.h. die Abweichung vom stöchiometrischen Verhältnis, beeinflußbar ist. Im Hinblick auf eine vollständige Verbrennung sollte die Einstellung zur "mageren" Seite hin tendieren. Gemische mit mehr als zwei Komponenten sind ebenfalls denkbar, beispielsweise um das Abbrandverhalten, die Abgaszusammensetzung oder die thermische Belastung zu beeinflussen.

Die Zündeinrichtung 5 arbeitet intermittierend, wobei eine hohe Wiederholrate (1 Hz oder mehr) angestrebt wird. Am zweckmäßigsten erscheint hier eine elektrische Funkenzündung. Möglicherweise genügt auch eine schnelle Glühzündung den Anforderungen.

Mit mäßiger, d.h. wirtschaftlicher Zündenergie läßt sich zunächst nur eine sehr niedrige Abbrandgeschwindigkeit von beispielsweise 0,15 ^{m}/s erzeugen, welche noch keine nutzbaren Druckwellen hervorrufen kann. Die erforderliche Beschleunigung des Abbrandes wird mittels mehrerer Wirbelerzeuger 6 bis 9, d.h. einen zunehmend turbulenten Strömungscharakter, erreicht. Damit läßt sich die Abbrandgeschwindigkeit auf Werte weit über 1000 ^{m}/s mit kurzen, hohen Druckspitzen (Detonation) steigern. Im vorliegenden Fall sind die Wirbelerzeuger 6 bis 9 beispielsweise als Lochblenden mit "Zahnlücken" bis zur Rohrwand ausgeführt. Am besten ist dies beim Wirbelerzeuger 9 zu erkennen, dessen zentrische Öffnung 10 örtlich in Form mehrerer Aussparungen 11 bis zur Rohrwand erweitert ist. Der kleinste und der größte Durchmesser des Wirbelerzeugers 9 sind zusätzlich strichpunktiert angedeutet.

Die optimale Anzahl und Geometrie der Wirbelerzeuger ist voraussichtlich experimentell zu ermitteln. Nach Passieren des letzten Wirbelerzeugers sollte die Verbrennung jedenfalls Detonationscharakter haben.

Die Querschnitts- und damit die Volumenverteilung innerhalb der Verbrennungskammer 3 ist so gewählt, daß ein großer Anteil des Fluidgemisches detonationsartig verbrennt, d.h. sich hinterhalb der "Flammenbeschleunigungszone" befindet.

Die dargestellte, trompetenartige Form mit stetiger Querschnittserweiterung, z.B. gemäß einer Exponentialfunktion, kann vorteilhaft sein, z.B. hinsichtlich der Druckwellenausbreitung. Es sind aber auch andere Wandkonturen vorstellbar, z.B. mit Knicken und stufenartigen Durchmessersprüngen. Es kann ausreichend sein, zwei zylindrische Rohrstücke mit stark unterschiedlichem Durchmesser über eine lochblendenartige Wand (Durchmessersprung) zu verbinden. Auch kegelige oder mehrfach gestufte Übergänge können anwendbar sein.

Die Verbrennungskammerquerschnitte müssen auch nicht rund sein. Quadratische, rechteckige oder andere Geometrien mit und ohne Ecken sind vorstellbar.

Die dargestellte "Druckwellentrompete" könnte durch die Verwendung von quadratischen statt runden Querschnitten unter Beibehaltung der stetigen, exponentiellen Querschnittserweiterung zu einem "Druckwellenhorn" modifiziert werden. Letztlich ist wichtig, daß ein großer Teil des Volumens der Verbrennungskammer detonationsartig abbrennt, und daß dieser Volumensteil sich im Bereich der die Verbrennungskammer stirnseitig begrenzenden Membran befindet. Der Zündvorgang und der Flammenbeschleunigungsvorgang sollen sich auf einen volumetrisch kleinen Teil der Verbrennungskammer beschränken. Dabei ist es so daß vor jedem Zündvorgang die Verbrennungskammer in voller Länge mit brennbarem Fluidgemisch gefüllt, d.h. gespült wird.

Für die bei der Verbrennung entstehenden Abgase ist im Bereich der Membran 14 eine Abführeinrichtung 12 vorgesehen, hier in Form mehrerer, über den Umfang verteilter Abströmschlitze 13. Der Abströmvorgang sollte möglichst keine seitlichen Reaktionskräfte auf die Druckwellenquelle 1 hervorrufen. Anstelle der Abströmschlitze 13 können auch Klappen, Ventile oder andere Ausströmorgane verwendet werden.

Falls unverbrannte Restmengen an Brennstoff im Abgas enthalten sind, kann eine gezielte Nachverbrennung sinnvoll bzw. erforderlich sein. Die die Verbrennungskammer 3 stirnseitig abschließende Membran 14 hat sowohl eine trennende als auch eine übertragende Funktion. Einerseits schützt sie angrenzende Substanzen vor den unmittelbaren Auswirkungen des Verbrennungsvorganges (Hitze, Verbrennungsprodukte etc.), andererseits bildet sie ein verlustarmes, akustisches Übertragungselement für die erzeugten Stoßwellen. Die zu bearbeitende Substanz steht entweder direkt mit der Membran 14 in körperlichem Kontakt, oder es ist mindestens ein weiteres Übertragungsmedium, z.B. Gel, Wasser oder Gummi, zwischen Membra und Substanz eingefügt. Die letztgenannte, indirekte Kontaktierung ist insbesondere dann gegeben, wenn die erzeugten Druckwellen nach der Membran fokussiert werden.

Im vorliegenden Beispiel ist strichpunktiert eine Fokussiereinrichtung 15 in Form einer akustischen Linse angedeutet. Auf Details wurde der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Die Fokussiereinrichtung 15 oder weitere Fokussiereinrichtungen weden nur im Bedarsfall, als Anbauelemente, lösbar mit der Druckwellenquelle 1 verbunden, welche entsprechende Anschlußmöglichkeiten aufweist.

Hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ist zu sagen, daß deren tatsächlicher Umfang jetzt noch nicht absehbar ist. Voraussichtlich können die meisten Substanzen von fest bis gasförmig behandelt werden. Insbesondere ist an Flüssigkeiten mit Feststoffbeimischung, an Stäube, Pulver und Granulate zu denken. Denkbare Wirkungen sind z.B. Homogenisieren, Zerkleinem, Beseitigen von Hohlräumen oder anderen "Fehlstellen", Auflösen von Ablagerungen, Verkrustungen etc. und somit das Reinigen von Oberflächen sowie

vieles mehr.

Bezugszeichenliste

1	Hochleistungs-Druckwellenquelle
2	Rohr
3	Verbrennungskammer
4	Zuführeinrichtung
5	Zündeinrichtung
6	Wirbelerzeuger
7	Wirbelerzeuger
8	Wirbelerzeuger
9	Wirbelerzeuger
10	Öffnung
11	Aussparung
12	Abführeinrichtung
13	Abströmschlitz
14	Membran
15	Fokussiereinrichtung

Patentansprüche

1. Hochleistungs-Druckwellenquelle zur Erzeugung einzelner hochenergetischer, in kurzen Zeitabständen wiederholbarer Druckwellen jeweils durch Zündung eines definierten Volumens eines brennbaren Fluidgemisches sowie durch Erhöhung seiner Abbrandgeschwindigkeit bis zur Detonation, **gekennzeichnet** durch einen zu einem seiner beiden Enden hin im Querschnitt erweiterten, eine Verbrennungskammer (3) bildenden Kanal definierter Länge, eine Zuführeinrichtung (4) für die Komponenten des Fluidgemisches und eine Zündeinrichtung (5) im Bereich des engen Kanalendes, eine Abführeinrichtung (12) für das Abgas im Bereich des weiten Kanalendes und eine das weite Kanalende stirnseitig abschließende, ein akustisches Übertragungselement bildende Membran (14) sowie mehrere über die Kanallänge verteilte Wirbelerzeuger (6 bis 9).

2. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach Anspruch 1, **gekennzeichnet** durch die Auslegung für einen Betrieb mit magerem bis stöchiometrischem Wasserstoff-Luft-Gemisch.

3. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet** durch eine Ausführung der Verbrennungskammer (3) als zur Membran (14) hin kontinuierlich, z.B. trompetenartig, erweitertes Rohr (2).

4. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet** durch eine Ausführung der Zündeinrichtung (5) als elektrische Funkenzündung.

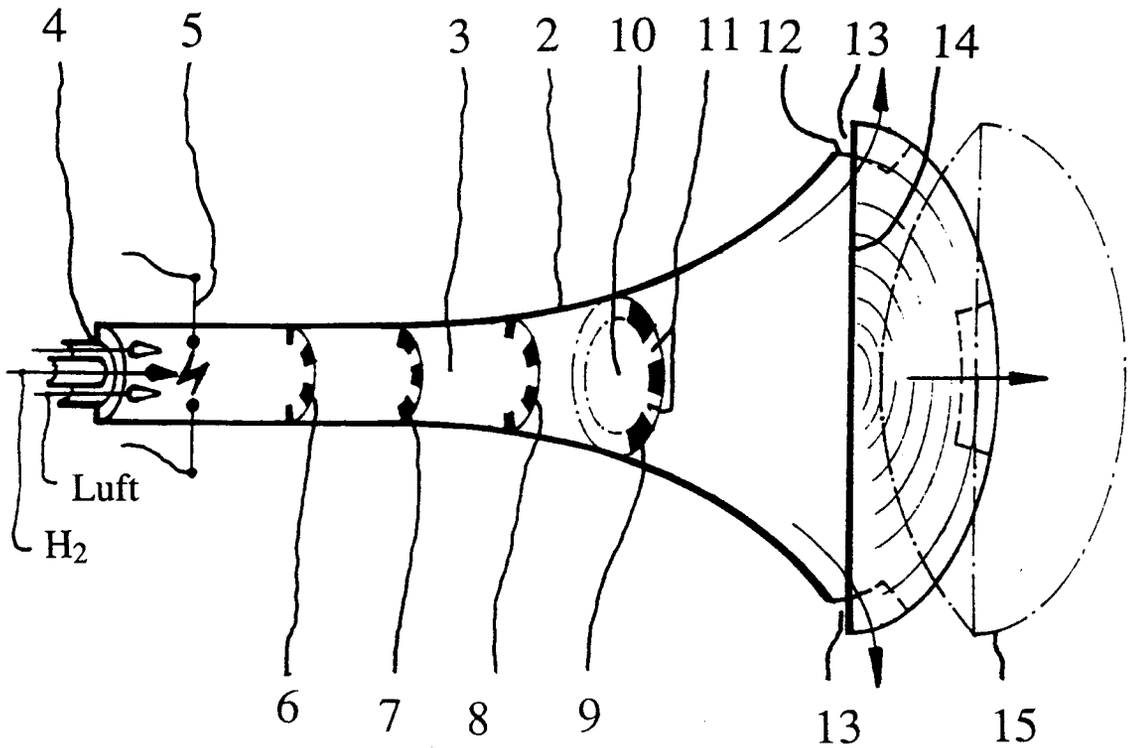
5. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, **gekennzeichnet** durch eine Abführeinrichtung (12) in Form mehrerer Abströmschlitze (13) im Bereich des Membranrandes.

6. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **gekennzeichnet** durch blendenartige Wirbelerzeuger (6 bis 9) mit einer zentrischen Öffnung (10) und mit mehreren, diese Öffnung (10) stellenweise bis in den Bereich der Kanalwand fortsetzenden, zahnlückenartigen Aussparungen (11).

7. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach Anspruch 3, **gekennzeichnet** durch eine Rohrgeometrie, bei welcher zumindest in der Nähe der Membran (14) der Rohrinnendurchmesser exponentiell - in Relation zur Rohrlängskoordinate - zunimmt.

8. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **gekennzeichnet** durch eine Pulsdauer der erzeugten einzelnen Druckwelle von weniger als 100 Mikrosekunden und eine Wiederholrate von mindestens einem Hertz.

9. Hochleistungs-Druckwellenquelle nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet** durch die Anbaumöglichkeit einer oder verschiedener, der Membran (14) nachgeschalteter, akustischer Fokussiereinrichtungen (15).


4
5
3
2
10
11
12
13
14
Luft
H_2
6
7
8
9
13
15