

(19)



(11)

EP 2 633 147 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.06.2016 Patentblatt 2016/26

(51) Int Cl.:
E21B 4/06 (2006.01) F25B 9/14 (2006.01)
F01B 11/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11813758.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2011/001878

(22) Anmeldetag: **21.10.2011**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/055392 (03.05.2012 Gazette 2012/18)

(54) **MEISSELDIREKTANTRIEB FÜR WERKZEUGE AUF BASIS EINER WÄRMEKRAFTMASCHINE**
DIRECT DRILL BIT DRIVE FOR TOOLS ON THE BASIS OF A HEAT ENGINE
ENTRAÎNEMENT DIRECT DE TRÉPAN POUR DES OUTILS SUR LA BASE D'UN MOTEUR THERMIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **30.10.2010 DE 102010050244**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.09.2013 Patentblatt 2013/36

(73) Patentinhaber:
• **Schwarz, Marcus**
09599 Freiberg (DE)
• **Kirsten, Ulf**
01683 Nossen (DE)
• **Reich, Matthias**
09599 Freiberg (DE)
• **Röntzsch, Silke**
01900 Grossröhrsdorf (DE)
• **Mertens, Florian**
09599 Freiberg (DE)

(72) Erfinder:
• **Schwarz, Marcus**
09599 Freiberg (DE)

- **Kirsten, Ulf**
01683 Nossen (DE)
- **Reich, Matthias**
09599 Freiberg (DE)
- **Röntzsch, Silke**
01900 Grossröhrsdorf (DE)
- **Mertens, Florian**
09599 Freiberg (DE)

(74) Vertreter: **Maikowski & Ninnemann**
Patentanwälte Partnerschaft mbB
Postfach 15 09 20
10671 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 238 337 WO-A2-2008/036814
JP-A- 2009 281 614 US-A- 3 782 859
US-A- 4 413 475 US-A- 5 003 777
US-A1- 2005 097 911 US-A1- 2008 295 511
US-B1- 6 488 105

EP 2 633 147 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**Technisches Gebiet**

- 5 **[0001]** Die Erfindung betrifft einen Meißeldirektantrieb für Werkzeuge zum Zerkleinern von und/oder Eindringen in spröde Materialien infolge Schlageinwirkung auf Basis einer mit einem gasförmigen Arbeitsmedium betriebenen Wärmekraftmaschine.

Stand der Technik

- 10 **[0002]** In der Tiefbohrtechnik ist bislang das Rotarybohren dominierend. Dieses Drehbohrverfahren ist für das Bohren von weichen bis mittelharten Gesteinen sehr gut geeignet. Wenn jedoch im Verlauf von Tiefbohrungen sehr harte Gesteinsformationen durchörtert werden müssen, nimmt die Vortriebsgeschwindigkeit aufgrund der höheren Gesteinsfestigkeit signifikant ab. Es ist bekannt, dass kristalline Hartgesteine mit Schlagbohrhämmern wesentlich effektiver zerstört werden können, als mit rotierend arbeitenden Meißeln, wie drückenden Rollenmeißeln oder spanenden Diamantwerkzeugen (PDC). Im Granit lassen sich mit Schlagbohrhämmern beispielsweise bis zu 10x höhere Bohrgeschwindigkeiten als mit Rollenmeißeln erzielen. Weitere Vorteile sind sowohl die geringeren Auflasten auf den Meißel des Schlagbohrhammers als auch die höhere Richtungsstabilität dieses Bohrverfahrens.

- 15 **[0003]** Der Einsatz von Schlagbohrverfahren gehört in der Flachbohrtechnik zur gängigen Praxis. Schlagbohrverfahren werden z.B. bei Sprenglochbohrungen in Tagebaubetrieben oder bei der Bohrung von flachen Geothermiesonden im Festgestein eingesetzt.

[0004] Im Stand der Technik sind zahlreiche Vorrichtungen und Verfahren für einen schlagenden Vortrieb dokumentiert.

- 20 **[0005]** Schlagbohrhämmer werden im Wesentlichen in zwei Gruppen eingeteilt: Die Überflurhämmer, die sich Übertage zwischen Bohrgerät und Bohrgestänge befinden und die Imloch-Hämmer, die Untertage direkt über dem Meißel angeordnet sind. Da die Schlagenergie beim Überflur-Hammer über das gesamte Gestänge zum Meißel transportiert werden muss, ist die Bohrungsteufe bei diesem Verfahren sehr begrenzt. Deshalb kommen für tiefe Bohrungen prinzipiell nur Imloch-Hämmer in Frage, bei denen die Schlagenergie direkt über dem Meißel erzeugt wird. Der Einsatz von mit Pressluft oder anderen komprimierten Gasen betriebenen Schlagbohrhämmer scheitert ab Teufen von wenigen hundert Metern an der Leistungsfähigkeit der übertägigen Kompressoren.

- 25 **[0006]** Konventionelle hydraulische Schlagbohrhämmer beziehen ihre Schlagenergie beispielsweise aus dem Wasserhammer-Effekt. Die bewegte Spülungssäule im Bohrstrang wird hierbei abwechselnd beschleunigt und dann schlagartig wieder gestoppt. Das Stoppen der Spülungssäule erzeugt den Schlagimpuls, der auf den Bohrkopf übertragen wird. Mit zunehmender Bohrungstiefe wird die zu beschleunigende Spülungsmasse immer größer und erfordert unter Beibehalt der Schlagfrequenz einen immer größer werdenden Energieaufwand. Das Verfahren erleidet dadurch immer größere Verluste und der energetische Wirkungsgrad nimmt mit zunehmender Teufe ab. Darüber hinaus sind Schlagbohrhämmer, die nach einem solchen oder ähnlichen Wirkungsprinzip auf einen direkten Durchsatz von Bohrspülung angewiesen sind, einem verfrühten Verschleiß durch die darin enthaltenen Feststoffe unterworfen.

- 30 **[0007]** Aus der EP 0096 639 A1 ist ein druckluftgespeicherter Imloch-Schlag- bzw. Bohrhammer für größere Tiefen bekannt, bei dem wechselweise in eine obere und untere Zylinderkammer Druckluft für einen Schlagkolben eingespeist wird. In die obere Zylinderkammer wird zusätzlich zur Druckluft Dieseldieselkraftstoff eingespritzt, um eine Verbrennung des so verdichteten Luft- und Diesel-Brennstoffgemischs und damit ein heftiges Schleudern des Schlagkolbens auf die Bohrschneide zu bewirken. Die Luft aus der oberen Zylinderkammer, die Auspuffgase nach der Verbrennung sowie Kühlluft werden über Leitungen aus der Tiefe nach oben abgeführt. Eine ähnlich arbeitende brennkraftbetriebene Schlagbohrvorrichtung ist aus DE 39 35 252 A1 bekannt. Die Schlagbohrvorrichtung ist hängend an einem rohrförmigen Bohrgestänge angebracht, welches die Zirkulation eines Bohrfluids für ein Turbobohren durch den hohlen Innenraum erlaubt. Am unteren Ende des Bohrgestänges sind konzentrische Reihen von Bohrstangen mit kolbengeführten Stoßzähnen nach Art einer Bohrkronen angebracht. Die Kolben werden sequentiell so häufig wie erforderlich gezündet, um die Stoßzähne schlagend und stoßend anzutreiben.

- 35 **[0008]** Auch hier sind Zu- und Ableitungen für Kraftstoff, Druckluft und Abgase für die Imloch-Schlagbohrvorrichtung installiert, außerdem Elektroleitungen für Zündkerzen und Steuerelektronik.

- 40 **[0009]** Außerdem ist aus der WO 2001 / 040 622 A1 ein Bohrloch-Schwingungserzeuger auf Basis eines Verbrennungsmotors bekannt, um im Bohrloch Druckschwingungen zu erzeugen. Der Schwingungserzeuger weist ein Gehäuse auf, das mit einem Verbrennungsmotor versehen ist, einschließlich eines Zylinders und eines Kolbens, die so ausgebildet sind, dass sie einen Verbrennungshub beim Verbrennen eines Gasgemisches in dem Zylinder ausführen. Ein mit dem Kolben verbundener Hammer schlägt gegen einen Amboß, der sich aus einer ersten in eine zweite Position bewegt. Federn führen jeweils Kolben und Amboß zurück. Der Verbrennungsmotor wird aus zwei Tanks gespeist, die getrennt voneinander Sauerstoff und Wasserstoff bevorraten. Die Zufuhr des Gasgemisches und Abfuhr der Abgase werden über Ventile gesteuert.
- 45
- 50
- 55

[0010] Weiter sind aus DE 27 26 729 A1 und DE 30 29 790 A1 Tiefbohrreinrichtungen bekannt, die durch Explosivstoffe oder Brenngas in Drehung versetzt und schlagend betrieben werden.

[0011] Fernerhin werden in SE 153256 C und GB 1350646 A Schlagbohrgeräte auf Basis von Innenverbrennungsmotoren offenbart.

[0012] Allen genannten Wärmekraftmaschinen kommen ohne Pleuelstange und Kurbelgetriebe aus, indem das Treibgas direkt auf ein Schlagwerkzeug wirkt. Allerdings sind die Versorgung mit gasförmigem oder flüssigen Treibstoff, Explosivstoff oder Oxidationsmitteln sowie die Entsorgung der entstehenden Abgase in großen Teufen ebenso problematisch wie eine störungsfreie Stromversorgung.

[0013] Um die Stabilität des Bohrloches zu gewährleisten, kommen in der Tiefbohrtechnik Bohrspülungen mit hoher spezifischer Dichte ρ mit typischerweise $1,2 \text{ g/cm}^3$, in Extremfällen bis über $1,6 \text{ g/cm}^3$ zum Einsatz. Demensprechend nimmt der hydrostatische Druck unterhalb einer Spülungssäule mit der Teufe h um $\rho \cdot g \cdot h$ zu, wobei g die Erdbeschleunigung ist und ρ in erster Näherung als konstant angesehen werden kann. Beim Bohren in großen Teufen mit mehreren 1000 m Spülungssäule können demnach Drücke von mehreren hundert bis über 1000 bar auftreten.

[0014] Ein signifikanter Unterdruck in einer mit einem gasförmigen Arbeitsmedium betriebenen Wärmekraftmaschine in Bezug auf diesen immensen Außendruck kann daher leicht zum Erliegen des Schlagmechanismus oder sogar zu einem Kollaps von deren Arbeitsvolumen und damit zu ihrer Zerstörung führen. Umgekehrt stellt eine starke Vorkompression des Arbeitsgases Übertage wegen der Berstgefahr der Wärmekraftmaschine ein Sicherheitsrisiko da. Damit käme nur ein Druckaufbau während des Bohrens bzw. Absenkens des Bohrgestänges in Frage. Hierbei wäre eine Versorgung mit einer Druckgasleitung von Übertage oder durch einen im Bohrstrang integrierten Vorratstank praktikabel. Bei sehr großen Teufen $> 4000 \text{ m}$ und/oder Wärmekraftmaschinen mit einem großen Arbeitsvolumen sind diesen Lösungsansätzen technische Grenzen gesetzt. Ein Vorratstank wäre bei Befüllung auf einen hohen Druck ein nahezu ebenso großes Sicherheitsrisiko wie eine derart befüllte Wärmekraftmaschine selbst. Bei Befüllung auf einen geringen Vordruck wäre andererseits das benötigte Volumen aufgrund des Boyle-Mariott'schen Gesetzes $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$ in Bezug auf die typischen Dimensionen eines Bohrstranges inakzeptabel groß.

Darstellung der Erfindung

Technische Aufgabe der Erfindung

[0015] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, einen Meißeldirektantrieb für oben genannte Werkzeuge auf Basis einer Wärmekraftmaschine zu schaffen, der unter Beibehaltung einer hohen Anzahl gemeinsamer Konstruktionsmerkmale auf eine Vielzahl von Energieformen angepasst werden kann und welcher die von einer äußeren Quelle bereitgestellte Energie verschleißarm und mit hoher Effizienz in eine oszillierende Schlagbewegung umwandeln kann. Geräte dieser Klasse sollen somit auf verschiedene Zwecke, wie z.B. zur Zerkleinerung von spröden Materialien, zum vertikalen oder horizontalen Vortrieb Übertage oder Untertage, und auf verschiedene Leistungsklassen, vom Handgerät bis zur Tiefbohrgarnitur, ausgelegt werden können. Insbesondere soll ein wartungsarmer universeller Antrieb für ein Schlagbohrgerät zum Vortrieb in kristallinen Hartgesteinen in großen Teufen zur Verfügung gestellt werden, welcher auch durch eine konventionelle Bohrspülung betrieben werden kann. Die Funktionsfähigkeit dieses Antriebs soll dabei auch bei sehr hohen hydrostatischen Drücken an der Bohrlochsohle bis über 1000 bar aufrecht erhalten werden können.

Lösung der Aufgabe

[0016] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 15 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen geben die begleitenden Ansprüche an. Danach ist die Erfindung durch einen Meißeldirektantrieb mit einer Wärmekraftmaschine geprägt, deren mechanische Nutzarbeit in Form von Schlagenergie ausgekoppelt wird. Der Meißeldirektantrieb arbeitet dabei nach einem realen Stirling-Kreisprozess eines quasi abgeschlossenen gasförmigen Arbeitsmediums. Das Arbeitsgas verbleibt demnach innerhalb der Wärmekraftmaschine und eines optional in den Bohrstrang integrierten Druckausgleichssystems und wird nicht mit der Umgebung ausgetauscht. Abgesehen von Ausführungsvarianten mit einer durch Verbrennung betriebenen externen Wärmequelle, arbeiten die erfindungsgemäßen Antriebe somit ohne Abgase.

[0017] Der Meißeldirektantrieb besteht aus einem vorzugsweise zylinderförmig ausgeführten Druckbehälter, der den gesamten Arbeitsraum der Wärmekraftmaschine umschließt und in unterschiedliche Arbeitsbereiche unterteilt ist. In einem Arbeitsbereich wird das Arbeitsmedium gemäß dem Wirkprinzip eines Stirlingmotors fortwährend erhitzt und in einem anderen Arbeitsbereich abgekühlt. Die mechanische Nutzarbeit resultiert dabei aus einer Phasenverschiebung zwischen Erwärmung und Expansion bzw. Abkühlung und Kontraktion des Arbeitsgases.

[0018] Die Wärmekraftmaschinen können als Stirlingmotor mit einem frei oszillierenden Verdrängerkolben und einem frei oszillierenden Arbeitskolben, üblicherweise als Freikolben-Stirlingmotor bezeichnet, ausgeführt sein, oder als thermoakustischer Stirlingmotor. Bei letzterem tritt an die Stelle des Verdrängerkolbens die oszillierende Druckschwankung

des Arbeitsgases in einer stehenden akustischen Welle (im angloamerikanischen auch "Standing Wave Thermoacoustic Engine" oder "Lamina Flow Stirling" genannt).

[0019] Die erforderliche thermische Betriebsenergie kann dem Arbeitsgas in beiden Fällen durch eine beliebige äußere Wärmequelle, beispielsweise durch ein elektrisches Heizelement, welches mit dem Gas direkt oder über einen Wärmetauscher in Kontakt steht, zugeführt werden, ebenso durch ein kontinuierlich zugeführtes heißes Medium oder durch eine chemische Reaktion zwischen (kontinuierlich zugeführten) flüssigen, gasförmigen oder festen Stoffen in einer in den Wärmetauscher integrierten oder diesem benachbarten Brennkammer. Eine weitere und besonders vorteilhafte Art der Wärmezufuhr ist die Erzeugung von Reibungswärme aus einer beispielsweise durch eine pneumatische oder hydraulische Turbine oder einen Verdrängermotor erzeugten Drehbewegung mittels einer geeigneten Reibpaarung. Diese kann sich ebenso wie das Heizelement in direktem Kontakt mit dem Arbeitsgas befinden oder über einen Wärmetauscher mit diesem verbunden sein.

[0020] Bei dem erfindungsgemäßen Meißeldirektantrieb auf Basis eines Freikolben-Stirlingmotors wird die Schlagenergie am kalten Ende der Maschine durch Kompression des Arbeitsgases, direkten mechanischen Anprall des Arbeitskolbens oder einen zusätzlichen Schlagkolben auf einen beweglich geführten Amboß übertragen und auf den Meißel weitergeleitet.

[0021] Bei dem erfindungsgemäßen Meißeldirektantrieb auf Basis eines thermoakustischen Stirlingmotors wird die Schlagenergie am kalten Ende der Maschine aus der oszillierenden Druckschwankung und Bewegung des Arbeitsgases durch einen beweglich geführten Kolben oder andere Arten beweglicher, freier Oberflächen ausgekoppelt und entweder direkt oder über ein zusätzliches Schlagwerk mit Schlagkolben und Amboß zum Meißel geleitet.

[0022] Ergänzend zu den der Fachwelt wohl bekannten physikalischen Grundlagen des Stirling-Kreisprozesses wird zur prinzipiellen Konstruktion von Stirling-Maschinen auf US 2003/0196441 A1 verwiesen.

[0023] Die oben gemachte Beschreibung des gasförmigen Arbeitsmediums als 'quasi abgeschlossen' bezieht sich auf die im Stand der Technik erläuterte Problematik, dass der mittlere Gasdruck im Arbeitsraum einer mit einem gasförmigen Arbeitsmedium betriebenen Wärmekraftmaschine beim Schlagbohren in großen Teufen mit mehreren 1000 m Spülungssäule an die Erfordernisse des herrschenden Umgebungsdrucks (im Folgenden mit 'hydrostatischer Spülungsdruck' bezeichnet) angepasst werden muss. Dies erfolgt erfindungsgemäß durch eine (quasi)-kontinuierliche Zufuhr oder Abfuhr von einem gasförmigen Arbeitsmedium in den Arbeitsraum nach zwei unterschiedlichen Varianten.

[0024] Bei kompakten Wärmekraftmaschinen mit einem Arbeitsraum von wenigen 10 Litern und geringen Bohrtiefen können zum einen Vorratsbehälter mit mindestens auf den Innendruck der Wärmekraftmaschine vorkomprimiertem Arbeitsmedium Verwendung finden. Diese sind im Bohrstrang oberhalb des Meißeldirektantriebes angeordnet. Ab Teufen, bei denen der hydrostatische Spülungsdruck den Druck der Vorkompression überschreitet, kann ihr momentanes Speichervolumen konstruktionsbedingt durch Ein- und Ausströmen von Bohrspülung verringert/ vergrößert werden, wodurch ein Druckausgleich zwischen Spülungsdruck, Wärmekraftmaschine und Vorratsbehälter hergestellt wird. Bohrspülung und Arbeitsgas bleiben dabei stets stofflich getrennt.

[0025] Zum Anderen kommen, um den volumetrischen Limitierungen in einer Bohrgarnitur Rechnung zu tragen, insbesondere bei Wärmekraftmaschinen mit einem großen Arbeitsraum und Teufen mit über 3500 m Spülungssäule, gaserzeugende oder gasverbrauchende chemische Reaktionen von Feststoffen mit einem hohen molaren Umsatz an Gasmolekülen, wie beispielsweise die Zersetzung von Aziden und die Bildung von (Metall)nitriden zum Einsatz. Das bevorzugte Arbeitsgas ist demnach in diesen Fällen Stickstoff.

Beschreibung

[0026] Die Erfindung soll nachstehend anhand eines bevorzugten Weges näher erläutert werden, welcher sich auf die Anwendung als Meißeldirektantrieb für ein Schlagbohrgerät ("Bohrhammer") zum Abteufen tiefer Bohrlöcher, wie dies zur Erschließung von Erdöl, Erdgas- oder Erdwärmelagerstätten üblich ist, bezieht. Alle dargestellten Varianten des erfindungsgemäßen Meißeldirektantriebs befinden sich am unteren Ende eines nicht näher dargestellten Bohrgestänges. Die Positionsangabe "unten", "unterer.." bezieht sich im Folgenden allgemein sowohl auf die durch die Bezugszeichen vorgegebene Orientierung der Zeichnungen, als auch auf die Richtung des Bohrvortriebs.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen:

[0027] In den Zeichnungen zeigen:

- **Fig. 1 (a) bis Fig. 1 (f)** Varianten der Wärmezufuhr für einen Meißeldirektantrieb auf Basis eines Freikolben-Stirlingmotors in axialer Kolbenanordnung von Arbeits- und Verdrängerkolben innerhalb eines zylindrischen Druckbehälters,
- **Fig. 2 (a) bis Fig. 2 (d)** Varianten eines Meißeldirektantriebs auf Basis eines Freikolben-Stirlingmotors in axialer Kolbenanordnung von Arbeits- und Verdrängerkolben innerhalb eines zylindrischen Druckbehälters, wobei die Va-

rianten 1 (a) bis 1 (f) mit den Varianten 2 (a), (c) oder (d) kombinierbar sind,

- **Fig. 3 (a) bis Fig. 3 (e)** Varianten eines Meißeldirektantriebs auf Basis eines thermoakustischen Stirlingmotors mit einem zylindrischen Druckbehälter, bei dem das Arbeitsgas ebenfalls einen realen Stirling-Kreisprozess durchläuft und die Bereitstellung der thermischen Betriebsenergie durch mechanisch bewegte Reibpaarungen mit rein axialer Flächenpressung (**Fig. 3 (a) und (c)**) und mit axialer und radialer Flächenpressung (**Fig. 3 (b) und (d)**) erfolgt. **Fig. 3 (3e)** zeigt ein Zusatzschlagwerk,
- **Fig. 4 (a) bis Fig. 4 (b)** einen in den Bohrstrang integrierten gasgefüllten Druckausgleichsbehälter für geringe bis mittlere Teufen und
- **Fig. 5 (a) bis Fig. 5 (c)** eine in den Bohrstrang integrierte Gasgenerator- und Absorbereinheit für große Teufen.

Bevorzugter Weg zur Ausführung der Erfindung anhand von Beispielvarianten und der Zeichnungen

[0028] Gemäß **Fig. 2 und 3** verfügen alle dargestellten Meißeldirektantriebe, deren Kombinationen und Varianten als gemeinsame Konstruktionsmerkmale über eine zylindrische Einhausung 1, an deren unteren Ende sich ein Meißel 2, bestehend aus einer Meißelaufnahme 2, und einem Meißeleinsatz 2 mit Spülkanälen 2 zur Entfernung des erzeugten Bohrkleins befindet.

[0029] Der Meißeleinsatz 2b kann als konventioneller Schlagbohrmeißel mit Hartstoffeinsätzen 2d, wie beispielsweise in EP 0 886 715 A1 oder DE 196 18 298 A1 offenbart, ausgeführt sein.

[0030] Die Meißelaufnahme 2a kann einen Mechanismus zum Umsetzen des Meißeleinsatzes 2b beinhalten, damit die Hartstoffeinsätze 2d in aufeinanderfolgenden Schlägen auf verschiedene Bereiche des Gesteins an der Bohrlochsohle einwirken. Die Rotation des Meißels 2 kann dabei unter Verwendung eines Teils der axialen Schlagenergie z.B. nach einem DE 27 33 300 A1 entsprechenden Mechanismus oder durch den Fluss der Bohrspülung angetrieben werden.

[0031] Die Einhausung 1 und der Meißel 2 sind coaxial zur Achse des Bohrlochs angeordnet. Im Inneren der Einhausung 1 befindet sich ein zylindrischer Druckbehälter 3, welcher durch nicht näher gezeigte geeignete Verbindungsstücke mit der Einhausung 1 kraftschlüssig und spielfrei verbunden ist. Der Druckbehälter 3 besteht im Falle des Freikolben-Stirlingmotors nach **Fig. 1 (a) bis (f) und Fig. 2 (a) bis (d)** aus einem beheizten Zylinderkopf 3a, einem Verdrängerkolbenzylinder 3b, einem Arbeitskolbenzylinder 3g, einem Faltenbalg 3h und einer dem Meißel 2 zugewandten, mittels des Faltenbalges 3h beweglich gehaltenen 'Bodens' 3i des zylindrischen Druckbehälters 3, welche alle aus temperatur- und/oder verschleißbeständigen Metalllegierungen gefertigt sind.

[0032] Der Verdrängerkolbenzylinder 3b und der Arbeitskolbenzylinder 3g haben beim thermoakustischen Meißeldirektantrieb gemäß **Fig. 3** ihre Entsprechung in einem oberen und einem unteren Resonatorzylinder (3b' und 3g' in **Fig. 3 (a),(b) und (e)**). Der Zylinderkopf 3a' ist in diesen Ausführungsvarianten nicht beheizt.

[0033] Ein Zwischenraum zwischen dem Druckbehälter 3 und der Einhausung 1 dient der Durch- bzw. Weiterleitung der Bohrspülung. Er ist im einfachsten Falle hohl oder enthält zu diesem Zweck nicht dargestellte erforderliche Kanäle bzw. Rohrleitungssysteme.

[0034] Der Zwischenraum kann darüber hinaus Messeinrichtungen zur Erfassung von Betriebsparametern des Bohrhammers, wie beispielsweise Temperaturmessfühler, Dehnungsmesser, Kraft- und Beschleunigungsmesser, sowie in der Tiefbohrtechnik übliche sonstige Messinstrumente und die hierzu erforderliche Elektronik enthalten.

[0035] Die einzelnen Ausführungsvarianten der Zylinderköpfe 3a für einen Freikolben-Stirlingmotor (**Fig. 1**) werden im Nachfolgenden näher beschrieben. Gleiche Hinweiszahlen beziehen sich dabei durchgehend auf Komponenten gleicher Funktion und (nahezu) gleicher Bauart. So haben alle Ausführungsvarianten als ein weiteres gemeinsames Konstruktionsmerkmal eine thermisch isolierende Ummantelung 4. Diese kann aus einem porösen, mineral- bzw. keramikartigem Material bestehen, welches entweder inhärent druckfest ist oder durch eine dem Umgebungsdruck anpassbare Gasfüllung stabilisiert wird. Auch ist eine entsprechend stabil ausgelegte Doppelwandung mit einer dazwischen befindlichen evakuierten Isolationsschicht nach dem Prinzip eines Dewar-Gefäßes möglich.

[0036] **Fig. 1 (a)** zeigt eine schematische Schnittansicht für die Ausgestaltung eines elektrisch beheizten Zylinderkopfes 3a mit einem im Druckbehälter 3 befindlichen Widerstands-Heizelement 5, welches über elektrische Zuleitungen 6 mit einem Gleich- oder Wechselstrom versorgt wird. Die Zuleitungen 6 werden durch gasdichte Isolationsstücke 7 ins Innere des Druckbehälters 3 geführt.

[0037] **Fig. 1 (b)** zeigt eine schematische Schnittansicht für die Ausgestaltung eines elektrisch beheizten Zylinderkopfes 3a mit einem außerhalb des Druckbehälters 3 (**Fig. 2**) befindlichen Widerstands-Heizelement 5. Die thermische Anbindung an das Arbeitsgas erfolgt durch einen Wärmeüberträger 8. Der Wärmeüberträger 8 kann aus einem Material höherer Wärmeleitfähigkeit als das Grundmaterial des Zylinderkopfes 3a bzw. des Druckbehälters 3 bestehen und ist in diesen gasdicht eingelassen. Zur besseren Wärmeabgabe kann der Wärmeüberträger 8 mit Rippen oder anderen Ausbuchtungen zur Vergrößerung der Kontaktfläche mit dem Arbeitsgas versehen sein.

[0038] Die Versorgung mit elektrischen Strom kann in beiden Fällen durch eine oberirdisch gespeiste, im Bohrloch befindliche elektrische Leitereinrichtung wie sie beispielsweise in EP 257 744 A2 offenbart wird, oder durch einen von der Bohrspülung angetriebenen elektrischen Generator nach z.B. DE 3029523 A1 im Bohrloch erfolgen.

[0039] Fig. 1 (c) zeigt eine schematische Schnittansicht für die Ausgestaltung eines durch ein heißes Medium oder eine flüssige oder gasförmige Reaktionsmischung beheizten Zylinderkopfes 3a. Die Zu- und Abfuhr dieser Medien erfolgt über isolierte Rohrleitungen 9, die für einen besseren Wärmeübertrag durch die Wandung des Zylinderkopfes 3a geführt sind. Die Wärmeabgabe erfolgt durch einen Wärmeüberträger 8, wobei dieser zu diesem Zweck zur Vergrößerung der Oberfläche spiralförmig gewunden und zusätzlich mit Rippen oder anderen Ausbuchtungen versehen sein kann. Als Medien können Heißdampf, erhitztes Öl oder Metallschmelzen (vorzugsweise Gallium und eutektische Legierungen auf Basis von Gallium und Indium, Quecksilber, geschmolzene Alkalimetalle), die von einer über dem Bohrer befindlichen Wärmequelle erhitzt und in Zirkulation gehalten werden, verwendet werden. Als Reaktionsmischung kann beispielsweise Knallgas (Wasserstoff/ Sauerstoff), welches durch eine katalytische Beschichtung im Wärmetauscher 8 zu exothermer Reaktion aktiviert wird, verwendet werden.

[0040] Für eine Anwendung in der Tiefbohrtechnik sind solche Medien und Mischungen bevorzugt, welche keine permanent gasförmigen Reaktionsprodukte erzeugen, da das Aufsteigen von Gasblasen und deren starke Expansion im Bohrloch zu einer Unterbrechung des Bohrspülungskreislaufs und zu weiteren Komplikationen beim Bohrprozess führen kann. Der aus einer Knallgasreaktion entstehende Wasserdampf kann durch die Kühlwirkung der Bohrspülung zu flüssigem Wasser auskondensiert werden.

[0041] Fig. 1 (d) zeigt eine schematische Schnittansicht für die Ausgestaltung eines durch einen Brenner mit direkter Flamme beheizten Zylinderkopfes 3a. Diese Variante ist vorzugsweise nicht für den Einsatz in der Tiefbohrtechnik, sondern für den Betrieb kompakter und leistungsstarker Bohrgeräte in der Flach- oder Horizontalbohrtechnik, ggf. auch für Handgeräte zum Schlagbohren, Meißeln und Stemmen an Orten geeignet, an denen keine elektrische Spannungsversorgung zur Verfügung steht.

[0042] Der gasförmige oder flüssige Brennstoff wird über ein Düsenrohr 10 zugeführt während die oxidierende Komponente, im einfachsten Fall Luft, über einen Ansaugstutzen 11 hinzutritt. Die Zündung des Brennstoff-Luft Gemisches kann durch eine elektrische Zündeinrichtung erfolgen, welche nicht abgebildet ist. Die Wärme wird wiederum über einen Wärmeüberträger 8 in das Innere des Druckbehälters 3 übertragen, wobei die heißen Abgase zur Steigerung der Effizienz noch am Zylinderkopf 3a entlanggeführt werden und das Gerät schließlich über einen Auspuff 12 verlassen.

[0043] Fig. 1 (e) und (f) zeigen schematische Schnittansichten für die Ausgestaltung einer Energiezufuhr in Form von Reibungswärme, die durch eine rotierende Reibpaarung außerhalb (Fig. (e)) oder innerhalb (Fig. (f)) des Druckbehälters 3 erzeugt wird. Diese Ausgestaltungsvarianten sind für den Einsatz in der Tiefbohrtechnik besonders gut geeignet, da die Reibpaarung direkt über einen herkömmlichen, durch die zirkulierende Bohrspülung betriebenen Bohrmotor (Verdrängermotor) oder eine entsprechende hydraulische Turbine angetrieben werden kann. Die Drehbewegung wird dabei über eine Antriebswelle 13 auf die daran befestigte, rotierende Reibscheibe 14 übertragen, welche mittels einer Vorspannvorrichtung 16 auf eine der rotierenden Reibscheibe 14 gegenüberliegende feststehende Reibscheibe 15 gepresst wird.

[0044] Die Vorspannvorrichtung besteht aus einem Lager 17 welches die Antriebswelle 13 radial stabilisiert und axiale Kräfte in Richtung der Vorspannung aufnehmen kann. Das Lager 17 ist im vorliegenden Fall beispielhaft als Kugellager mit konischen Laufflächen ausgeführt, jedoch sind auch entsprechend ausgelegte Nadellager, Wälzlager oder Gleitlager geeignet.

[0045] Die Vorspannung und damit der Reibwiderstand und die Leistungsabgabe der beiden Reibscheiben 14 und 15 kann durch expandierbare Elemente 18 gemäß den aktuellen Erfordernissen des Schlagbohrvorganges gesteuert werden. Dabei kann es sich um eine um die Antriebswelle 13 gruppierte Anordnung von Hydraulikzylindern, piezoelektrischen oder magnetostriktiven Aktuatoren oder Spindeln mit Motortrieb handeln.

[0046] In der Variante nach Fig. 1 (e) wird die Antriebswelle 13 zwischen dem Lager 17 und der rotierenden Reibscheibe 14 auf Druck belastet, weshalb ein zusätzlicher Lastrahmen 19 erforderlich ist. Dieser ist kraftschlüssig mit der Wand des Druckbehälters 3 verbunden und im vorliegenden Beispiel als deren unmittelbare Fortsetzung ausgeführt, in die der Zylinderkopf 3a als eine Art Zwischenboden eingezogen ist. Ein weiterer Zwischenboden 19a nimmt die von den expandierbaren Elementen erzeugte Kraft auf.

[0047] In der Variante nach Fig. 1 (f) wird die Antriebswelle 13 zwischen dem Lager 17 und der rotierenden Reibscheibe 14 auf Zug belastet, weshalb zur Aufrechterhaltung der Vorspannung Elemente 20 aus einem druckfesten Material geringer Wärmeleitfähigkeit zwischen der stehenden Reibscheibe 15 und den expandierbaren Elementen 18 innerhalb und außerhalb des Druckbehälters 3 angebracht sind. Bei diesem Material handelt es sich beispielsweise um ein hochfestes keramisches Material wie Zirkonoxid. Um den Wärmeübertrag zusätzlich zu verringern können diese druckfesten Elemente 20 mit einer Wabenstruktur mit Wabenachsen längs zur Druckrichtung versehen sein. Da bei der Variante nach Fig. 1 (f) die Reibpaarung innerhalb des Druckbehälters 3 liegt, ist eine abdichtende Durchführung 7' für die Antriebswelle 13 notwendig. Sie muss der Druckdifferenz zwischen der maximalen Druckamplitude des Arbeitsgases und dem Druck außerhalb des Druckbehälters 3, beispielsweise dem Gasdruck in der Isolierummantelung 4 standhalten. Diese Druckdifferenz ist im Vergleich zum absoluten hydrostatischen Druck an der Bohrlochsohle gering, da der Innendruck des Motors wie eingangs erwähnt und weiter unten genauer ausgeführt erfindungsgemäß an diesen angepasst wird.

[0048] Im nachfolgenden Abschnitt wird näher auf die für die Leistungsfähigkeit der erfindungsgemäßen Stirling-Bohrhämmer dieses Typs wichtige Materialwahl der beiden Reibscheiben 14, 15 eingegangen.

[0049] Aus den Figuren wird deutlich, dass die erzeugte Reibungswärme in Variante nach **Fig. 1 (e)** von der Reibfläche quasi-eindimensional durch die feststehende Reibscheibe 15 und die Stirnseite des Zylinderkopfes weitergeleitet werden muss, während eine Wärmeabfuhr durch die rotierende Scheibe 14 nicht zum Antrieb des Stirling-Motors beiträgt und einen Verlust darstellt.

[0050] In Variante nach **Fig. 1 (f)** hingegen erfolgt die Wärmeabgabe an das Arbeitsgas an den Mantelflächen beider Reibscheiben 14, 15, vor allem jedoch an der von der Reibfläche abgewandten Stirnseite der rotierenden Reibscheibe 14, während eine Wärmeabfuhr von der feststehenden Reibscheibe 15 durch die Wandung des Zylinderkopfes 3a einen Verlust darstellt. Da der Wirkungsgrad des realen Stirling-Kreisprozesses mit der Temperaturdifferenz zwischen beheizter und gekühlter Seite steigt und die Kühltemperatur durch die Temperatur der Bohrspülung fixiert ist, ist eine möglichst hohe Temperatur der jeweils wärmeabgebenden Reibscheibe 14, 15 zu erzielen.

[0051] Diesen Randbedingungen muss bei der Materialwahl der beiden Reibscheiben 14, 15 Rechnung getragen werden. Die Reibflächen müssen aus einem verschleißfesten Material mit hohem Reibungskoeffizienten, hoher Warmfestigkeit und hoher Temperaturbeständigkeit bestehen. In DE 44 38 455 C1 und: G.H. Jang et al.: "Tribological Properties of C/C-SiC Composites for Brake Discs", Met. Mater. Int. (2001), Vol. 16, No. 1, werden Bremsscheiben aus C/C-SiC Verbundwerkstoffen mit einer thermischen Beständigkeit bis zu 1300°C und hoher Wärmeleitfähigkeit vorgestellt, welche bereits in ähnlichen Anwendungen im Einsatz sind. Der Körper der jeweils wärmeabgebenden Reibscheibe kann vollständig aus diesen Materialien gefertigt sein. Die jeweilige Gegenscheibe besteht vorzugsweise aus einem Material mit ähnlicher thermischer Beständigkeit und Festigkeit, aber geringerer Wärmeleitfähigkeit wie beispielsweise Zirkonoxidkeramik.

[0052] Zur Erzielung optimaler Reibeigenschaften kann die feststehende Reibscheibe 15 auch diesem Grundmaterial mit einer kraft- und/oder stoffschlüssigen Auflage oder einem Gradienten einer Reibschicht aus C/C-SiC oder einem ähnlich geeigneten keramischen Material ausgeführt sein. Insbesondere können bei einer Variante nach **Fig. 1 (f)** die feststehende Reibscheibe 15 und die druckfesten Elemente 20 auf der Innenseite des Zylinderkopfes 3a auf diese Weise aus einem integralen Bauteil bestehen.

[0053] **Fig. 2 (a)** bis **(d)** zeigen schematische Schnittansichten für drei verschiedene Ausgestaltungsvarianten eines Meißeldirektantriebs auf Basis eines Freikolben-Stirlingmotors. Dabei ist **Fig. 2 (b)** die Visualisierung eines speziellen Zeitpunktes im Arbeitszyklus der mittels **Fig. 2 (a)** näher bezeichneten Motors, während **Fig. 2 (c)** eine geringfügige, aber entscheidende konstruktive Abwandlung von diesem darstellt.

[0054] Identisch oder ähnlich dargestellte Teile sind bei den drei Varianten **Fig. 2 (a)** bis **(d)** wiederum mit denselben Hinweiszahlen belegt. Die entsprechende Beschriftung in **Fig. 2** erfolgt, der Übersichtlichkeit halber, jeweils nur einmalig, sofern dies für die jeweils nachfolgenden Erläuterungen ausreichend ist.

[0055] Beide Varianten verfügen über folgende gemeinsame Konstruktionsmerkmale: Einen Verdrängerkolben 30b, an dem eine Kolbenstange 30c befestigt ist, die durch eine gedichtete Bohrung im oberen Ende des Arbeitskolbens 30g geführt ist. An dem dem Verdrängerkolben 30b gegenüberliegenden Ende trägt die Kolbenstange 30c einen kleinen Kolben 30e, der innerhalb des Arbeitskolbens 30g in einem weiteren Zylinder oder einer Bohrung arbeitet. Dieser Zylinder im Arbeitskolben 30g hat zwei Kammern 30d und 30f, welche Prallräume bzw. Gasfederelemente in Bezug auf die Relativbewegung zwischen dem Verdrängerkolben 30b und dem Arbeitskolben 30g darstellen. Mit axial wird im Folgenden die Richtung längs der gemeinsamen Achse dieser Kolbenanordnung bezeichnet. Das untere Ende des Arbeitskolbens 30g arbeitet in einem Anschlag- bzw. Prallraum 42, dessen Boden 3i beispielsweise durch einen hermetisch schließenden Faltenbalg 3h axial beweglich gehalten ist.

[0056] Zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Auskopplung von Schlagenergie aus dem beschriebenen Stirlingmotor, die nur mit geringen konstruktiven Unterschieden einhergehen sind in **Fig. 2 (b)** und **Fig. 2 (c)** näher dargestellt.

[0057] In **Fig. 2 (b)** sind Geometrie und Volumen des Prallraums 42 so bemessen, dass der Arbeitskolben 30g durch Kompression des Arbeitsgases bis zum Stillstand abgebremst wird, ohne mit dem Boden oder der Wand des Arbeitskolbenzylinders 3g in axialer Richtung zu kollidieren. Dabei ist der mittlere Druck des im Prallraum 42 enthaltenen Arbeitsgases mit demjenigen in den beiden Arbeitsräumen 40 und 41 identisch. Dieser mittlere Druck wird in noch näher zu beschreibender Weise auf den außen an der Bohrlochsohle anliegenden hydrostatischen Druck der Spülungssäule so angepasst, dass eine optimale Wirkung des Motors erzielt wird. Durch eine Verjüngung des Querschnitts Δr am unteren Ende des Prallraums 42 wird das Arbeitsgas kurz vor Erreichen des unteren Totpunktes des Arbeitskolbens 30g besonders stark verdichtet. Der hierdurch erzeugte Druckstoß verursacht eine über den Faltenbalg 3h vermittelte axiale Abwärtsbewegung des Prallraumbodens 3i, die auf den daran mittelbar oder unmittelbar befestigten Meißel 2 übertragen wird.

[0058] Es ist anzumerken, dass sich der Verdrängerkolben 30b zu dem in **Fig. 2 (b)** dargestellten Zeitpunkt des Arbeitszyklus nicht an einem seiner Totpunkte in Bezug auf den Verdrängerkolbenzylinder 3b befindet. Dies liegt in der für jede Stirlingmaschine mit Kolbenantrieb typischen Phasenverschiebung zwischen Arbeits- und Verdrängerkolben begründet.

[0059] Die Aufwärtsbewegung des Arbeitskolbens 30g wird durch das nach dem Druckstoß zurückfedernde Gasvolumen im Prallraum 42, sowie der als vorgespannte Gasfeder wirkenden oberen Zylinderkammer 30d im Arbeitskolben 30g in Kombination mit der Trägheit des Verdrängerkolbens 30b eingeleitet. Sie geht zunächst mit einer weiteren Abwärtsbewegung des Verdrängerkolbens 30b einher, wobei erkaltetes Gas aus Arbeitsbereich 41 durch ein Kühlersystem 22 und einen Regenerator 21 in den heißen Arbeitsbereich 40 strömt. Die Wärmeabfuhr am Kühlersystem 22 erfolgt durch die durchströmende Bohrspülung. Der Regenerator 21 ist dabei so ausgelegt, dass er an jeder Stelle in einem möglichst vollständigen thermischen Austausch mit dem Arbeitsgas steht, d.h. die Querschnitte seiner Kanäle oder Poren, durch die das Arbeitsgas strömt, sind in der gleichen Größenordnung wie dessen thermische Eindringtiefe bei den typischen Arbeitsfrequenzen des Motors.

[0060] In **Fig. 2 (c)** ist im Prallraum 42 zusätzlich ein Amboß 2e vorgesehen. Geometrie und Volumen des Prallraums 42 sind als eine 'zu schwache' Gasfeder ausgelegt, welche den Arbeitskolben 30g nicht zum Stillstand abzubremesen vermag, so dass dieser mit dem Amboß 2e in axialer Richtung kollidiert. Sinngemäß entspricht das einem erzwungenen unteren Totpunkt, der im Vergleich mit der Anordnung in **Fig. 2 (b)** um einen Versatz Δz axial nach oben verschoben ist.

[0061] Die Kollision der beiden Körper löst darin zwei entgegengesetzt laufende elastische Wellen aus. Die in den Arbeitskolben 30g laufende elastische Welle wird an dessen innerer Grenzfläche zum als Gasfeder wirkenden unteren Arbeitsraum 30f reflektiert und trägt damit zu dessen Aufwärtsbewegung bei. Die in den Amboß 2e laufende elastische Welle läuft in den Meißel 2 weiter und wird auf das zu zerstörende Gestein übertragen. Aufgrund der deutlich geringeren Kompressibilität der kollidierenden Festkörper im Vergleich zu dem zuvor beschriebenen Druckstoß in dem komprimierten Gaspolster, hat die so ausgelöste Stoßwelle eine höhere Amplitude bei gleichzeitig geringerer Einwirkungsdauer als bei der vorgenannten Ausführung nach **Fig. 2 (a)** und **(b)**.

[0062] Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsvarianten wird die Stoßenergie dem Arbeitskolben 30g nahe an seinem unteren Totpunkt entnommen, bei dem dieser nur noch eine geringe Geschwindigkeit aufweist.

[0063] In **Fig. 2 (d)** ist die schematische Schnittansicht einer weiteren Vorrichtung zur Erzeugung von Schlagenergie auf Basis eines Freikolben-Stirlingmotors gezeigt, die mit einem zusätzlichen frei beweglichen Schlagkolben 30h in einem im erweiterten Prallraum 43 angebrachten Schlagkolbenzylinder 50 arbeitet. Dieser ist wie auch der Amboß 2e mit dem Boden des Prallraums 42 fest verbunden und weist am unteren Ende Ausströmkanäle 51 auf, welche beispielsweise aus lang gezogenen Schlitzten längs seines Umfanges bestehen, um ein möglichst ungedrosseltes Durchströmen des Arbeitsgases zu gewährleisten.

[0064] Der Querschnitt des Schlagkolbenzylinders 50 ist im Vergleich zum Arbeitskolbenzylinder 3g verringert. Durch das aus dem Arbeitskolben 30g mit dem größeren Querschnitt in den Schlagkolbenzylinder 50 einströmende Gas wird der Schlagkolben 30h daher bei der Abwärtsbewegung des Arbeitskolbens 30g auf eine höhere Geschwindigkeit beschleunigt als dieser. Die Höhe des Schlagkolbenzylinders 50 ist dabei so bemessen, dass der Schlagkolben 30h auf den Amboß 2e aufschlägt, wenn der Arbeitskolben 30g am Scheitelpunkt seiner Bewegung ist, also seine größte Geschwindigkeit erreicht hat.

[0065] Das obere Ende des Schlagkolbenzylinders 50 ist bis zu diesem Zeitpunkt durch ein Steuerventil, welches aus einer Aktuator Einheit 52 und einer Ventilklappe 53 besteht, verschlossen.

[0066] Die Ventilklappe 53 kann, um ein ungehindertes Ein- und Ausströmen des Arbeitsgases zu ermöglichen, beispielsweise ringförmig ausgefertigt sein. Das Signal zum Öffnen der Ventilklappe 53 kann beispielsweise durch den Aufprall des Schlagkolbens 30h auf den Amboß 2e ausgelöst werden. Da die Ventilklappe 53 allerdings ein wirkungsvolles Instrument zur Steuerung der Geschwindigkeit des Arbeitskolbens 30g während des gesamten Arbeitszyklus darstellt, wird sie bevorzugt durch einen Prozessrechner angesteuert, welcher die Momentangeschwindigkeit und Position des Arbeitskolbens 30g mittels einer entsprechenden Sensorik erfasst.

[0067] In der zweiten Hälfte der Abwärtsbewegung wird die Ventilklappe 53 nun geöffnet. Dies ist in **Fig. 2 (d)** durch Pfeile angedeutet. Da der am Boden des Schlagkolbenzylinders 50 befindliche Schlagkolben 30h die Strömungskanäle 51 verschließt, wird das in der zweiten Hälfte der Abwärtsbewegung des Arbeitskolbens 30g verdrängte Gas nun in den erweiterten Prallraum 43 eingepresst, wodurch der Arbeitskolben 30g seine Bewegung verlangsamt.

[0068] Die Gasströme über die Ventilklappe 53 und die Ausströmkanäle 51 werden im nun folgenden Abschnitt des Arbeitszyklus über diese Ventilklappe 53 so gesteuert, dass sich der Schlagkolben 30h während der gesamten Aufwärtsbewegung des Arbeitskolbens bis zu seinem oberen Totpunkt gehoben hat und Unregelmäßigkeiten in der Aufwärtsbewegung des Arbeitskolbens 30g ausgeglichen werden. Der Betrieb und die Arbeitssequenz des Freikolben-Stirlingmotors kann außerdem durch weitere technische Maßnahmen, wie z.B. durch eine in DE2524479A1 vorgestellte besondere Ausführung der Arbeitskolben-Hilfskolben-Kombination 30g/ 30e stabilisiert und gesteuert werden.

[0069] Es ist darüber hinaus dem Fachmann ersichtlich, dass weitere Möglichkeiten bestehen, Schlagenergie unter Verwendung eines Freikolben-Stirlingmotors zu erzeugen. So wird beispielsweise in WO 1995 029 334 A1 ein Verfahren zum Betreiben und Steuern einer Freikolben-Stirlingmaschine vorgestellt, bei dem ein Druckpotential zwischen einem Hochdruckspeicher und einem Niederdruckspeicher aufgebaut wird. Mit diesem Druckgefälle kann ein pneumatischer Bohrhämmer am unteren Ende des Stirlingmotors betrieben werden. Beim Bohren in großen Tiefen müssen auch hierbei alle mit gasförmigem Arbeitsmedium gefüllten Arbeitsräume und Leitungen durch Zugabe desselben aus einer Gasge-

neratoreinheit auf einem mittleren Arbeitsdruck gehalten werden, welcher eine komplikationsfreie Funktion der Maschinen angesichts eines durch die Flüssigkeitssäule der Bohrspülung auf diesen lastenden hohen Außendruckes gewährleistet.

[0070] Fig. 3 (a) und (b) zeigen schematische Schnittansichten für zwei verschiedene Ausgestaltungsvarianten eines Meißeldirektantriebs auf Basis eines thermoakustischen Stirlingmotors. Identisch oder ähnlich dargestellte Teile sind bei den beiden Varianten wiederum mit denselben Hinweiszahlen belegt. Die entsprechende Beschriftung in Fig. 3 erfolgt der Übersichtlichkeit halber jeweils nur einmalig, soweit dies für die jeweils nachfolgenden Erläuterungen ausreichend ist.

[0071] Der Druckbehälter 3 stellt einen überwiegend zylinderförmigen Resonanzkörper dar, in dem sich eine stehende akustische Welle des gasförmigen Arbeitsmediums ausbildet. Die erforderliche thermische Betriebsenergie wird in Fig. 3 (a) ähnlich der zuvor anhand Fig. 1 (e) beschriebenen Vorrichtung (für 17, 18, 19 und 19a, siehe dort) als mechanische Arbeit über eine Antriebswelle 13 zugeführt und über eine axial vorgespannten Reibpaarung aus einer feststehenden Reibscheibe 15 und einer rotierenden Reibscheibe 14 in Reibungswärme umgewandelt. Die abdichtende Durchführung 7' wurde bereits in den Ausführungen zu Fig. 1 (f) näher erläutert.

[0072] Im Fall von Fig. 3 (b) handelt es sich um eine konische Reibpaarung mit tangentialer Relativbewegung und einer Vorspannung mit radialen und axialen Komponenten.

[0073] Auf den Aufbau der beiden Reibsysteme wird, unter anderem anhand von Fig. 3 (c) und (d), weiter unten eingegangen.

[0074] Die Wärmeabfuhr auf der Niedertemperaturseite erfolgt über ein Flüssigkeitsdurchflossenen Kühlersystem 22. Die Kühlelemente 22a innerhalb des Kühlersystems 22 sind längs der Zylinderachse flächig oder stabförmig ausgebildet und möglichst dünn, um eine möglichst geringe Querschnittsverringering für das durchströmende Arbeitsgas zu bewirken. Um diese dünne Bauweise zu gewährleisten und ein Verstopfen der feinen Kühlkanäle zu verhindern, erfolgt die Kühlung vorzugsweise durch einen von der partikelhaltigen und viskosen Bohrspülung stofflich getrennten Kühlmittelkreislauf. Als sehr wirkungsvolle Kühlmittel kommen vorzugsweise flüssige Metalle wie Gallium, eutektische Mischungen auf Basis von Gallium und Indium oder Quecksilber in Frage, da diese eine geringe Viskosität, hohe Siedepunkte und eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Aber auch Flüssigkeiten auf Basis von Polysiloxanen (Silikonöle), perfluorierten Kohlenwasserstoffen oder Wasser mit Siedepunkterhöhenden Zusätzen können verwendet werden. Die Umwälzung des Kühlmittels erfolgt durch eine Pumpe 22d, die vorzugsweise direkt durch eine Fortsetzung der Antriebswelle 13 im Inneren des Druckbehälters 3 angetrieben wird. Eine andere Ausführungsform besteht in einer außerhalb des Druckbehälters 3 befindliche Pumpe 22d', die beispielsweise durch einen kleinen Elektromotor angetrieben wird. Das Kühlmittel gibt die im Innern des Druckbehälters aufgenommene Wärme über einen weiteren Wärmetauscher 22b an die Bohrspülung ab. In Fig. 3 (a) und (b) ist dieser als spiralförmig um den Druckbehälter 3 gewundene Rohrleitung angedeutet. Das Kühlmittel wird durch ein Zuleitungs- und Wärmetauschersystem 22c über die Kühlelemente 22a geleitet. Beide sind dabei so angeordnet, dass eine möglichst gleichförmige Kühlleistung über den gesamten Druckbehälterquerschnitt gewährleistet wird. Der Wärmetauscher 22b steht außerdem mit einem nicht näher bezeichneten Kühlmittelreservoir in Verbindung, welches dazu dient, Druck- und Volumenänderungen des Kühlmittels aufgrund von Temperaturänderungen und seiner Kompression/ Dekompression beim Einfahren bzw. Herausziehen des Bohrgestänges in bzw. aus großen Tiefen zu kompensieren. Es befindet sich vorzugsweise im Zwischenraum zwischen Einhausung 1 und Druckbehälter 3.

[0075] Die Oszillation des Arbeitsgases wird angetrieben durch den Regenerator 21, in welchem sich ein möglichst kontinuierliches Temperaturgefälle von der Temperatur der Reibpaarung zu derjenigen des Kühlmittelkreislaufs einstellt.

[0076] Der Regenerator 21 wird vom Arbeitsgas oszillierend durchströmt, wobei die Strömung zum heißen Ende bei steigendem Druck und zum kalten Ende bei fallendem Druck erfolgt. Ist der thermoakustische Stirlingmotor wie in Fig. 3 (a) und (b) dargestellt, als ein einstufiger Motor mit einem geradlinigen Resonanzraum (= Druckbehälter 3) und stehender akustischer Welle ("standing wave acoustic engine") ausgeführt, so muss der Regenerator 21 als so genannter "Stack" mit einer unvollständigen lokalen thermische Ankopplung zum Arbeitsgas ausgeführt sein, um eine für die Aufrechterhaltung der Oszillation notwendige Phasenverschiebung zwischen der Bewegung des Arbeitsgases und seiner thermischen Expansion/ Kontraktion zu bewirken. Die charakteristische laterale Dimension der Strömungskanäle im Regenerator 21 muss dazu eine bis mehrere thermische Eindringtiefen ("thermal penetration depths") im Gas bei der Oszillationsfrequenz betragen. Diese Erkenntnis ist Stand der Technik (siehe beispielsweise US 20030196441A1), wird hier jedoch der Vollständigkeit der Beschreibung halber angeführt.

[0077] Im Gegensatz zu den in Fig. 1 (e) und (f) dargestellten Reibpaarungen zum Beheizen von Freikolben-Stirlingmotoren, müssen die durch Reibpaarungen realisierten Heizelemente bei den thermoakustischen Stirlingmotoren in Fig. 3 (a) und (b) so ausgelegt sein, dass sie vom Arbeitsgas längs der Zylinderachse des Druckbehälters 3 mit möglichst geringen viskosen Fließverlusten durchströmt werden können. Diese Anforderung wird in der Ausführungsvariante nach Fig. 3 (a) durch Reibscheiben mit axialen Kanälen bzw. Ringspalten gelöst.

[0078] Fig. 3 (c) zeigt schematisch den Schnitt A-A in Fig. 3 (a). Die Antriebswelle 13 mündet in eine Nabe 13a, an welcher die obere rotierende Reibscheibe 14 über Rippen 14b befestigt ist. Die Rippen 14b laufen radial nach außen und übertragen die axiale Anpresskraft und das Drehmoment der Antriebswelle 13 auf die rotierende Reibscheibe 14.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel besteht die rotierende Reibscheibe 14 selbst aus konzentrischen Ringen 14c, die über die Rippen 14b und gegebenenfalls weitere radial verlaufende Stege (nicht abgebildet) miteinander verbunden sind. Die darunterliegende feststehende Reibscheibe 15 ist so ausgeführt, dass deren Ringe deckungsgleich mit denen der oberen rotierenden Reibscheibe 14 übereinander liegen, so dass ein kontinuierlicher Gleitweg entsteht. Im Gegensatz zu der rotierenden oberen Reibscheibe 14 mit ihren schräg zur Nabe hin ansteigenden Rippen 14b, hat die untere feststehende Reibscheibe 15 nur radiale Verstärkungselemente gleicher Höhe und ist flach aufliegend fest mit dem Regenerator 21 verbunden. Dieser ist wiederum kraft- und/oder stoffschlüssig am Druckbehälter 3 befestigt und nimmt neben der übertragenen Wärme das auf die feststehende untere Reibscheibe 15 übertragene Drehmoment und die axiale Anpresskraft auf. Wird der Kühlmittelkreislauf mit einer im Druckbehälter 3 liegenden Pumpe 22d betrieben, so haben die untere Reibscheibe 15 und der Regenerator 21 eine entsprechende zentrale Durchführung für die verlängerte Antriebswelle 13.

[0079] Für die Wahl der Reibscheibenmaterialien kommen wiederum vorzugsweise die bereits in der Erläuterung zu Fig. 1 (e) und (f) in Frage. Es ist dabei anzumerken, dass die relative mechanische Belastung auf das Material aufgrund der inhärent notwendigen Perforation für den Durchtritt des Arbeitsgases und der damit verbundenen Schwächung der Reibscheiben jedoch höher ausfällt als bei diesen.

[0080] In Fig. 3 (b) und Fig. 3 (d) wird daher noch eine Variante vorgestellt, bei der diese Problematik durch Verwendung einer rotierenden, konisch geformten Trommel 60, die wiederum mit Vollmaterial für die Reibpaarung auskommt, umgangen werden kann. Die Trommel 60 besteht aus einem hohlen Metallzylinder (oder Konus) 61 welcher mittels kraftübertragender Speichen 62 konzentrisch auf der Antriebswelle 13 befestigt ist. Das Innere der Trommel 60 ist mit radial auf die Antriebswelle 13 zulaufenden wärmeleitenden Lamellen 63 versehen. Auf den Metallzylinder 61 ist eine konisch geformte Schicht eines Friktionsmaterials 14' aufgebracht und die gesamte Trommel 60 sitzt in einem Sitz aus segmentierten Reibelementen 15', die über eine thermische Isolationsschicht aus druckfestem Material 20' einzeln mit Aktuatorelementen 18' gegen die Friktionsschicht 14' gepresst werden können. Die dadurch auf die Antriebswelle 13 wirkende axiale Kraftkomponente wird wiederum über ein Lager 17 auf eine radialsymmetrische Tragrahmenkonstruktion 19 und 19a in den Druckbehälter 3 abgeleitet. Aufgrund der Konizität der Trommel 60 ist die Relativgeschwindigkeit der aneinander reibenden Flächen längs der Antriebswelle 13 unterschiedlich, was in einer lokal verschiedenen Wärmefreisetzung und damit einem axialen Temperaturgradienten resultiert. Der Effekt kann durch unterschiedliche Anpresskräfte der Aktorelemente 18' noch verstärkt werden, so dass die mit dem Arbeitsgas in (unvollständigem) thermischen Kontakt befindlichen Lamellen 63 sowohl als Wärmequelle, als auch als Regenerator 21 fungieren. Da die Reibungswärme am Rand eingetragen wird, werden die Lamellen 63 daher längs einer Linie von der Antriebswelle 13 zum Metallzylinder 61 hin heißer. Da sie sich jedoch aufgrund ihrer radialen Anordnung zur Antriebswelle 13 hin einander annähern, steigt die spezifische Wärmeabgabe an das Gas in diese Richtung hin an. Das Bogenmaß zwischen zwei benachbarten Lamellen 63 sollte idealerweise so bemessen sein, dass sich beide Effekte im optimalen Betriebszustand des Stirlingmotors ausgleichen und eine über den Querschnitt nahezu gleichförmige Erwärmung des Arbeitsgases erfolgt.

[0081] Wie in Fig. 3 (a) und Fig. 3 (b) dargestellt, ist die dem Meißel 2 zugewandte Stirnseite 3i des Druckbehälters 3 ebenso wie die zuvor beschriebenen Antriebsvarianten auf Basis von Freikolben-Stirlingmotoren beweglich ausgeführt, so dass ein Teil der Energie der stehenden akustischen Welle als eine oszillierende Bewegung auf den Meißel 2 ausgekoppelt werden kann. Die Beweglichkeit wird im vorliegenden Fall über den Faltenbalg 3h realisiert, kann aber auch als gedichteter beweglicher Kolben ausgeführt sein. Der maximal mögliche Verfahrensweg dieser Elemente braucht nur einen geringen Bruchteil der Länge des Druckbehälters 3 zu betragen, vorzugsweise 0,1 bis 3%. Die tatsächliche Bewegungsamplitude des Bodens 3i bzw. des daran anschließenden Meißels 2 ist nochmals geringer. Sie setzt sich aus dem Abstand zwischen Bohrlochsohle und den Hartstoffeinsätzen 2d des Meißeleinsatzes 2b zuzüglich der Eindringtiefe in das Gestein je ausgeführten Schlages zusammen.

[0082] Die Theorie stehender akustischer Wellen fordert, dass sich an beiden Enden eines beidseitig geschlossenen Resonanzrohres ein Maximum des oszillierenden Druckes befindet, bei einem einseitig offenen Rohr hingegen ein Maximum der Geschwindigkeit des oszillierenden Arbeitsgases, während die Druckoszillation einen Knotenpunkt aufweist.

[0083] Im vorliegenden Fall einer beweglichen Stirnseite tritt eine Mischform aus beiden Fällen auf, wobei der Charakter einer stehenden Welle in einem beidseitig Geschlossenen Resonanzrohr aufgrund der geringen Bewegungsamplitude des Bodens 3i im Fall der in Fig. 3 (a) und (b) abgebildeten Ausführungsvarianten überwiegt.

[0084] Je nach der erforderlichen Amplitude des auf das Gestein zu übertragenden Kraftstoßes kann es von Vorteil sein, diese mittels eines in Fig. 3 (e) schematisch im Querschnitt dargestellten Schlagwerks zu erhöhen. Dieses kann an beide beschriebenen thermoakustischen Meißeldirektantriebe wie durch die Schnittlinie B-B angedeutet angeflanscht werden und ist in Bauart und Funktion, jedoch nicht notwendigerweise in seinen absoluten Abmessungen, zu dem in Fig. 2 (d) gezeigten Schlagwerk identisch.

[0085] Es bleibt noch anzumerken, dass die hierin beschriebenen, erfindungsgemäßen Meißeldirektantriebe ebenso wie die meisten konventionellen Schlagbohrvorrichtungen bei geringer bis keiner Auflast (engl.: 'weight on bit', WOB) betrieben werden, da sonst keine dynamischen Schlagbewegungen mehr ausgeführt werden können.

[0086] Nachstehend soll anhand der **Fig. 4 (a) und Fig. 4 (b)** eine Druckregulierung in den Meißeldirektantrieben beim Bohren in großen Tiefen näher erläutert werden. Auf die Notwendigkeit, den Druck im Arbeitsraum der erfindungsgemäßen Meißeldirektantriebe auf Basis von Wärmekraftmotoren beim Bohren in großen Tiefen durch eine (quasi)-kontinuierliche Zufuhr oder Abfuhr von gasförmigem Arbeitsmedium an den herrschenden Umgebungsdruck anzupassen, wurde in der Aufgabenstellung der Erfindung und im Abschnitt "Darstellung der Erfindung" bereits hingewiesen.

[0087] Dabei muss sowohl beim Bohren selbst als auch beim Abteufen des Bohrgestänges in ein bereits vorhandenes Bohrloch, beispielsweise nach Wartungsarbeiten an der Bohrgarnitur, ein Druckaufbau und beim Herausziehen der Bohrgarnitur ein entsprechender Druckabbau erfolgen.

[0088] Bei einer Bohrspülung mit einer (als konstant angenommenen) Dichte von $1,2 \text{ g/cm}^3$ beträgt die Änderung des hydrostatischen Drucks je Meter Teufe $0,12 \text{ MPa}$. Für die Auslegung einer entsprechenden Vorrichtung sind dabei die Verfahrensgeschwindigkeiten für Ein- und Ausbau des Bohrgestänges (mehrere 100 m je Stunde) maßgebend, während die Vortriebsgeschwindigkeit der Bohrung selbst mit maximal einigen zehn Metern je Stunde eine relativ langsame Zufuhr von Arbeitsgas erfordert.

[0089] Bei kompakten Wärmekraftmotoren mit einem Arbeitsraum von wenigen 10 Litern und geringen Bohrtiefen können - wie bereits oben ausgeführt - zum Einen erfindungsgemäß Ausgleichsbehälter mit mindestens auf den Innendruck des Wärmekraftmotors vorkomprimiertem Arbeitsmedium Verwendung finden, die im Bohrstrang oberhalb des Meißeldirektantriebes angeordnet sind. Ab Teufen, bei denen der hydrostatische Spülungsdruck den Druck der Vorkompression überschreitet, kann ihr momentanes Speichervolumen konstruktionsbedingt durch Ein- und Ausströmen von Bohrspülung verringert/vergrößert werden, wodurch ein Druckausgleich zwischen Spülungsdruck, Wärmekraftmotor und Vorratsbehälter hergestellt wird. Bohrspülung und Arbeitsgas bleiben dabei stets stofflich getrennt.

[0090] **Fig. 4 (a)** zeigt einen schematischen Längsschnitt eines erfindungsgemäßen Druckausgleichsbehälters 65. Dieser besteht aus einer zylindrischen Einhausung 1'. An deren oberen Abschluss befindet sich ein Kragen 70 in den das Bohrgestänge eingeschraubt ist. Der Bohrschlamm wird durch einen Spülungskanal 71 durch die Vorrichtung hindurch zum Bohrmotor und Meißeldirektantrieb weitergeleitet. Die Strömungsrichtung ist mit einem Pfeil angezeigt. Die sich unmittelbar nach unten anschließende Komponente der Bohrgarnitur (z.B. Bohrmotor) ist wiederum durch ein Verbindungsstück 70' mit der Vorrichtung verbunden. Konzentrisch in dem sich aufweitenden Spülungskanal 71 ist der Druckausgleichsbehälter 65 angeordnet, der durch stromlinienförmige Halterungen 66 fest mit der Einhausung 1' verbunden ist. Das Arbeitsgas, welches Übertage auf einen Druck p_{65-0} von mehreren 100 bar vorkomprimiert ist, kann über das Ventil 67 entnommen werden und wird, ggf. unter Durchleitung durch den Bohrmotor und andere Komponenten der Bohrgarnitur, über eine Druckausgleichsleitung 68 zu den erfindungsgemäßen Wärmekraftmotor der Meißeldirektantriebe weitergeleitet. Die Leitung wird auf der Außenseite des Druckausgleichsbehälters 65 entlang durch eine der Halterungen 66' zu den anschließenden Komponenten der Bohrgarnitur geführt. Ventil und Leitung werden gegen die abrasive Wirkung des einströmenden Bohrschlammes durch die konische Schutzhaube/Strömungsteiler 64 abgeschirmt.

[0091] **Fig. 4 (b)** zeigt einen Querschnitt durch die Vorrichtung längs der Schnittebene A-A mit Draufsicht auf die Schutzhaube.

[0092] Die Länge des Druckausgleichsbehälters 65 ist in Bezug auf den Durchmesser der Einheit nicht maßstäblich dargestellt. Er kann je nach dem für die angestrebte Bohrtiefe benötigten Ausgleichsvolumens an der Schnittlinie B-B verlängert sein. Am unteren Ende des Druckausgleichsbehälters 65 befindet sich die Druckausgleichseinheit 69. Sie besteht aus einem gedichteten Kolben 69a, der in dem Druckausgleichsbehälter 65 gegen den Gasdruck frei beweglich ist. Der Kolben 69a ist ausreichend lang, um eine gute Führung im Druckausgleichszylinder 65 zu gewähren und kann daher aus Gründen der Materialersparnis hohl sein. Am unteren Ende des Kolbens 69a befindet sich ein zylindrisches Verschlussstück mit einem konischen Ende 69b, welches Übertage und bei geringen Teufen aufgrund des hohen Überdruckes ($p_{65} > p_{\text{außen}}$) im zylindrischen Druckausgleichsbehälter 65 fest in eine konische Dichtung 65c gepresst wird. Diese Dichtung 65c stellt unter diesen Bedingungen die Gasdichtigkeit sicher und verhindert das Austreten komprimierten Gases.

[0093] Überschreitet der Umgebungsdruck der Bohrgarnitur bei zunehmender Teufe den Innendruck ($p_{65} \leq p_{\text{außen}}$), kann Bohrschlamm über Bohrungen 69d einströmen, dabei den Kolben 69a anheben und das darüber befindliche Arbeitsgas bis zum Druckausgleich komprimieren. Um den Kolben 69a laufenden Ringdichtungen 69e verhindern primär das Eindringen von Flüssigkeit in den Druckausgleichsbehälter bei einem verschwindend geringen Druckunterschied zwischen diesem und dem Außendruck. Sie können beispielsweise aus einem temperaturbeständigen und verschleißfesten Elastomer bestehen.

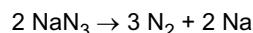
[0094] Eine zusätzliche Dichtungs- und Schmierwirkung wird durch eine nicht flüchtige Flüssigkeit 69f erzeugt, die zu jedem Zeitpunkt der Tiefbohrung eine geringere Dichte hat als die Bohrspülung und daher über dieser aufschwimmt. Sie befindet sich bei geschlossenem Ventil 69b/69c in einem Flutungsraum 69g und wird mit der einströmenden Bohrspülung nach Oben verdrängt. Sie hat ebenfalls die Aufgabe, die Innenseite des Druckbehälterzylinders 65 zu benetzen und so vor Korrosion zu schützen.

[0095] Beim Herausziehen des Bohrgestänges bewegt sich der Kolben aufgrund der Expansion des Arbeitsgases wieder nach unten. Dabei wird kurz vor Erreichen des unteren Anschlags, welcher durch das Schließen der Dichtungs-

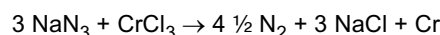
paarung 69b/69c gegeben ist, die Flüssigkeit 69f unter erhöhter Fließgeschwindigkeit durch den verbleibenden Spalt zwischen beiden Flächen herausgepresst. Sie reißt dabei Feststoffbestandteile welche sich durch die eingeströmte Bohrspülung auf dem Dichtungssitz festgesetzt haben könnten mit. Hierdurch wird beim Erreichen der Oberfläche wiederum ein Druck- und gasdichter Verschluss gewährleistet.

[0096] Eine weitere Variante sieht eine in der Bohrgarnitur oberhalb des Meißeldirektantriebs verortete, kombinierte Gasgenerator- und Gasabsorbereinheit vor, welche unter Verwendung gaserzeugender oder gasverbrauchender chemischer Reaktionen von Feststoffen mit einem hohen molaren Umsatz an Gasmolekülen arbeitet. Im Folgenden werden zunächst die angesprochenen chemischen Reaktionen näher ausgeführt, es folgt dann die Beschreibung der Gasgenerator- und Absorbereinheit (**Fig. 5**).

[0097] Mit Metallaziden stehen gasgenerierende Materialien mit hohem Stickstoffgehalt zur Verfügung, deren thermischer induzierter Zerfall im Gegensatz zu den meisten organischen stickstoffreichen Verbindungen nicht zusätzlich Wasserstoff oder andere schädliche Gase freisetzt, z.B.



[0098] Beispielsweise aus der Kraftfahrzeug-Sicherheitstechnik sind pyrotechnische Mischungen und -Versätze auf Basis von Alkali- oder Erdalkali-Metallaziden bekannt, bei denen das reaktive Alkali- bzw. Erdalkalimetall durch Zuschläge oder stöchiometrisch zugegebene Reaktionspartnern zu ungefährlicheren Produkten umgesetzt werden. So lehrt US3865660 beispielsweise die Verwendung von wasserfreiem Chromchlorid:

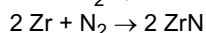
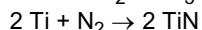
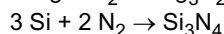
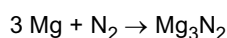


[0099] In US 4376002 werden oxidische Zusätze aus Eisen-, Silicium-, Mangan-, Tantal-, Niob und Zinnoxiden als Schlackebildner und Abbrandmoderatoren vorgeschlagen. Im Gegensatz zu Anwendungen für aufblasbare Luftkissen in der Kraftfahrzeugsicherheit (Airbags) wird für die erfindungsgemäße Verwendung eine Zubereitung benötigt, die bei hohem Stickstoffgehalt eine Zersetzungstemperatur über 300°C, vorzugsweise über 500°C, und eine moderate Abbrandgeschwindigkeit besitzt. Außerdem muss beispielsweise durch Beimischung hochschmelzender Zuschlagstoffe verhindert werden, dass bei der Reaktion eventuell entstehende schmelzflüssige Reaktionsprodukte an der Reaktorwandung anhaften.

[0100] Beim Herausziehen des Bohrgestänges muss der Druck im Arbeitsraum der Wärmekraftmotor wieder abgebaut werden. Dies kann nicht durch Abblasen von Gas in die Bohrspülung erfolgen, da die Gasblasen auf ihrem Weg an die Erdoberfläche stark expandieren und den Bohrspülungskreislauf in erheblichem Maße beeinträchtigen würden. Es ist daher erforderlich, das Gas wiederum durch eine chemische Reaktion in ein Produkt von deutlich kleinerem Volumen, vorzugsweise einen Feststoff, zu überführen.

[0101] Bevorzugte Materialien für diesen Zweck sind nitridbildende Metalle und Halbmetalle, welche je Formelumsatz eine möglichst hohe Anzahl von Stickstoffmolekülen zu binden vermögen und über eine ausreichend hohe Aktivierungsbarriere für die Reaktion verfügen, so dass es bei deren Lagerung in Stickstoffatmosphäre nicht zur Selbstentzündung kommen kann. Als besonders geeignet sind zu nennen:

Magnesium, Silicium, Titan, Zirkonium:



[0102] Sie könnten vorzugsweise in fein verteilter Form eines Schwammes, Gewebes oder Pulvers durch einen direkten Heizstrom oder eine von außen vorgenommene Erwärmung zur Reaktion gebracht werden. Die Reaktion zu den Nitriden ist stark exotherm, weshalb der Zustrom des Gases und die Abfuhr der Wärme zu regeln ist.

[0103] Von den genannten Materialien stellt Silicium in Bezug auf Verfügbarkeit, Preis, Stickstoffbindevermögen und Handhabungssicherheit ein besonders bevorzugtes Material da. Die Zündtemperatur für die o.g. Nitridierungsreaktion liegt bei reinem Siliciumpulver mit 1250-1450°C sehr hoch, es wurde jedoch festgestellt, dass sie durch Beimengungen katalytisch aktiver Substanzen auf unter 1000°C gesenkt werden kann (WO002002090254A1).

[0104] Es wird daher erfindungsgemäß vorgeschlagen, Gasgenerator- und Absorbiermaterialien in Form eines rieselfähigen Pulvers, kleiner Kugeln oder Pellets zu bevorraten und mittels einer Feststoffdosiereinrichtung einer elektrisch beheizbaren Zersetzungszone zuzuführen.

[0105] **Fig. 5 (a) bis Fig. 5 (c)** zeigen schematische Schnittansichten eines Ausführungsbeispiels einer Gasgenerator- und -Absorbereinheit. Diese ist vorzugsweise am oberen Ende der Bohrgarnitur, d.h. über dem Bohrmotor und den

erfindungsgemäßen Meißeldirektantrieben verortet. Speziell zeigen:

Fig. 5 (a) einen lateralen Schnitt quer zur Achse der Bohrung (Durch C-C in **Fig. 5 (b)** angedeutet),

Fig. 5 (b) einen Längsschnitt zur Achse der Bohrung und

Fig. 5 (c) einen längs B-B der Linie in **Fig. 5(a)** abgerollten Schnitt der Apparatur. Nicht in der Schnittebene liegende Komponenten sind zum besseren Verständnis z.T. dennoch abgebildet. Ihre Umrisse sind in diesem Fall mit einer gepunkteten Linie dargestellt.

[0106] Die Gasgenerator- und -Absorbereinheit besteht wiederum aus einer zylindrischen Einhausung 1'. Die Einheit ist gasdicht verschließbar und so ausgelegt, dass sie Übertage einem Innendruck des Arbeitsgases, der typischerweise im Bereich von 50-100 bar liegt, ohne Deformation standhält. An ihrem oberen Ende befindet sich ein Kragen 70 in den das Bohrgestänge eingeschraubt ist. Der Bohrschlamm wird über einen zentralen Spülungskanal 71 zu Bohrmotor und Meißeldirektantrieb weitergeleitet. Die Strömungsrichtung ist mit einem Pfeil angezeigt. Konzentrisch um den Spülungskanal 70 sind im oberen Teil ein Vorratssilo für den Gasgenerator 73 und ein Vorratssilo für das Gasabsorbermaterial 74, im unteren Teil die Auffangbehälter 75, 76 für die jeweiligen Reaktionsprodukte angeordnet. Die Länge dieser Silos ist in Bezug auf den Durchmesser der Einheit nicht maßstäblich dargestellt. Sie können je nach der Menge des zu erzeugenden und absorbierenden Gases an den Schnittlinien C-C und F-F in **Fig. 5 (b)** verlängert sein. Auch kann das Bogenmaß zwischen Trennwänden 77, 78 und 79 je nach den Raumerfordernissen der jeweiligen Materialien anders gewählt sein. Zwischen den Vorratssilos 73, 74 und den Auffangbehältern 75, 76 befinden sich ein Zersetzungsreaktor 80 und der Nitridierungsreaktor 81, die jeweils mit einer Isolierummantelung 81 a und einer elektrischen Widerstandsheizung 81 b ausgestattet sind.

[0107] Um eine Überhitzung aufgrund der freiwerdenden Reaktionswärme zu vermeiden, werden sind beide Reaktoren über Kühlleitungen 83a von Bohrspülung umflossen. Der Kühlmittelfluss wird dabei zweckmäßig durch das Druckgefälle zwischen der im Spülungskanal 71 nach unten und zwischen der Einhausung 1' und der Bohrlochwand nach oben strömenden Bohrspülung hervorgerufen. Er kann beispielsweise durch eine Eintrittsöffnung 83b erfolgen und durch Steuerventile 83c geregelt werden. Nach Durchtritt durch das Ventil kann die Bohrspülung beispielsweise durch eine Ringleitung 83d auf die Kühlleitungen 83a verteilt werden.

[0108] Das rieselfähige Gasgenerator- und Gasabsorbermaterial wird den Reaktoren jeweils über Feststoffdosiereinrichtungen 84 zugeführt. Die Zufuhr erfolgt quasikontinuierlich portionsweise durch ein geeignetes Schleusensystem, so dass ein Zurückschlagen der Reaktion in die Vorratsbehälter verhindert wird.

[0109] Die Reaktoren 80 und 81 sind so ausgelegt, dass sie eine für die Reaktion ausreichenden thermischen Kontakt und Verweildauer der Gasgenerator- und Gasabsorbermaterialien gewährleisten. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist dies durch eine Förderschnecke 81c mit elektrischem Antrieb 81d angedeutet. Auf eine Darstellung der erforderlichen elektrischen Spannungsversorgung der jeweiligen Geräte wurde der Übersichtlichkeit halber verzichtet.

[0110] Im Falle der Gaserzeugung strömt das entstehende Gas über einen Füllstutzen 85 in den Auffangbehälter 75. Die festen Reaktionsprodukte werden dabei mitgerissen und/oder mittels der Förderschnecke 81 c aus der Reaktionszone entfernt. Der Auffangbehälter 75 dient gleichzeitig zur Abpufferung eventuell auftretender Druckstöße durch stoßweise Zersetzung. Fein verteilte Feststoffpartikel im Gas können sich hier absetzen. Weitere Staubpartikel werden durch einen Partikelfilter 86 zurückgehalten.

[0111] Das erzeugte Gas strömt in einen Wärmetauscher 87, der in einen vertikal verlaufenden Gasverteilungsschacht 88 der in das Gehäuse der Gasgenerator- und Absorbereinheit integriert ist. Der Wärmetauscher 87 wird durch die Bohrspülungsströme innerhalb und außerhalb der Gasgenerator- und Absorbereinheit gekühlt. Der Druckausgleich mit den Vorratssilos 73, 74 und Auffangbehältern 75, 76 erfolgt über entsprechende Durchführungen 89. Diese können zusätzlich durch Sicherheitsventile (nicht dargestellt) kontrolliert werden.

[0112] Der Druckausgleich mit weiteren gasgefüllten Räumen der Bohrgarnitur unterhalb der Gasgenerator- und Absorbereinheit, insbesondere mit den Arbeitsräumen der erfindungsgemäßen Meißeldirektantriebe, erfolgt über den Verbindungsflansch 90. Das Arbeitsgas wird dabei mittels entsprechender Leitungen durch den dazwischen liegenden Bohrmotor geführt.

[0113] Der Druckausgleich mit den Arbeitsräumen des Heißgasmotors der erfindungsgemäßen Meißeldirektantriebe erfolgt über ein im Bereich von 3a (vergl. Fig. 3 und Fig. 5) angebrachtes steuerbares Ventil (nicht gezeigt). Bei Druckaufbau wird jeweils so viel Gas erzeugt, bis dieses Ventil sich aufgrund des Überdrucks in der Leitung öffnet und eine geringe Menge Gas in den Zylinder einströmt. Bei Druckabbau kann die Regelfunktion des Ventils umgekehrt werden, so dass jeweils kleine Gasmengen aus den Heißgasmotoren ausströmen.

[0114] Für den Druckabbau wird das Gas dem Nitridierungsreaktor im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch ein Gebläse 91 und eine Bohrung bzw. Leitung 92 zugeführt, welche in eine hohle und perforierte Welle der Förderschnecke 81 c' mündet. Durch eine Gaszirkulation 88 → 91 → 92 → 81 → 85 → 86 → 89 → 88 kann so für eine vollständige Reaktion gesorgt werden.

[0115] Es ist für den Fachmann nachvollziehbar, dass der Nitridierungsreaktor auf weitere Arten ausgeführt sein kann,

beispielsweise als Wirbelbettreaktor.

Gewerbliche Verwertbarkeit

5 **[0116]** Bevorzugte Anwendungsgebiete für die Erfindung sind das Tiefbohren zur Gewinnung von Öl, Gas oder Erdwärme und die Niederbringung von Erkundungsbohrungen in tiefe Gesteinsschichten. Weitere Anwendungsgebiete sind beispielsweise das Vortreiben von Strecken im Bergbau und auf Baustellen ohne Elektroenergieversorgung das Schlagbohren mit handgeführten Schlagbohrhämern oder Stemmen und Meißeln mit handgeführten Meißelhämmern.

10 Bezugszeichen

[0117]

- | | | |
|----|-----|--|
| | 1 | zylindrische Einhausung des Stirlingmotors |
| 15 | 1' | zylindrische Einhausung des Druckausgleichsbehälters |
| | 2 | Meißel |
| | 2a | Meißelaufnahme |
| | 2b | Meißeinsatz |
| | 2c | Spülkanal |
| 20 | 2d | Hartstoff- bzw. Hartmetalleinsätze im Kopfteil |
| | 2e | Amboß |
| | 3 | zylindrischer Druckbehälter |
| | 3a | beheizter Zylinderkopf (Freikolben-Stirling) |
| | 3a' | nicht beheizter Zylinderkopf (thermoakustischer Stirling) |
| 25 | 3b | Verdrängerkolbenzylinder |
| | 3g | Arbeitskolbenzylinder |
| | 3h | Faltenbalg |
| | 3i | Boden |
| | 3b' | oberer Resonatorzylinder des thermoakustischen Stirlingmotors |
| 30 | 3g' | unterer Resonatorzylinder des thermoakustischen Stirlingmotors |
| | 4 | Isolierummantelung |
| | 5 | Widerstands-Heizelement |
| | 6 | elektrische Zuleitung |
| | 7 | gasdichtes Isolationsstück für elektrische Zuleitung 6 |
| 35 | 7' | gasdichte Durchführung für Antriebswelle 13 |
| | 8 | Wärmetauscher |
| | 9 | Rohrleitung |
| | 10 | Düsenrohr |
| | 11 | Ansaugstutzen |
| 40 | 12 | Auspuff |
| | 13 | Antriebswelle |
| | 13a | Nabe |
| | 14 | rotierende Reibscheibe |
| | 14' | Friktionsmaterial |
| 45 | 14b | radiale Rippen an Reibscheibe |
| | 14c | konzentrische Ringe an Reibscheibe |
| | 15 | feststehende Reibscheibe |
| | 15' | segmentierte Reibelemente |
| | 16 | Vorspannungsvorrichtung |
| 50 | 17 | Lager |
| | 18 | expandierbare Elemente |
| | 18' | Aktorelemente |
| | 19 | Lastrahmen |
| | 19a | Zwischenboden |
| 55 | 20 | druckfeste Elemente |
| | 20' | Isolationsschicht |
| | 21 | Regenerator |
| | 22 | Kühlersystem |

	22a	Kühlerelemente
	22b	Wärmetauscher
	22c	Zuleitungs- und Wärmetauschersystem
	22d	Pumpe des Kühlersystems
5	22d'	Variante der Pumpe
	30b	Verdrängerkolben
	30c	Kolbenstange
	30d	obere Zylinderkammer im Arbeitskolben
	30e	kleiner Kolben im Arbeitskolben
10	30f	untere Zylinderkammer im Arbeitskolben
	30g	Arbeitskolben
	30h	Schlagkolben
	40	oberer (heißer) Arbeitsraum im zylindrischen Druckbehälter
	41	unterer (kalter) Arbeitsraum im zylindrischen Druckbehälter
15	42	Prallraum im zylindrischen Druckbehälter
	43	Prallraum um Schlagkolbenzylinder
	50	Schlagkolbenzylinder
	51	Ausströmkanäle
	52	Aktuatoreinheit
20	53	Ventilklappe
	60	rotierende Trommel
	61	Metallzylinder
	62	Speichen
	63	Lamellen
25	64	Schutzhaube/Strömungsteiler
	65	Druckausgleichsbehälter
	66	Halterungen
	66'	Halterung mit Gasdurchführung
	67	Ventil
30	68	Gasleitung (Arbeitsgas)
	69	Ausgleichseinheit
	69a	Kolben
	69b	konisches Verschlussstück
	69c	konische Dichtung
35	69d	Ein- bzw. Ausströmbohrungen für Bohrschlamm
	69e	Ringdichtung, z.B. aus temperaturbeständigem Elastomer
	69f	Flüssigkeit mit Dichte < Dichte (Bohrspülung)
	69g	Flutungsraum für Flüssigkeit 69f
	70	Verbindungskragen (Verschraubung zw. Bohrgestänge und Gaseinheit)
40	70'	Verbindungskragen (Verschraubung zw. Gaseinheit und Bohrmotor)
	71	Spülungskanal
	73	Vorratssilo Gasgeneratormaterial
	74	Vorratssilo Gasabsorbermaterial
	75	Auffangbehälter für feste Nebenprodukte des Gasgenerators
45	76	Auffangbehälter für nitriertes Gasabsorbermaterial
	77	Trennwand
	78	Trennwand
	79	Trennwand
	80	Zersetzungsreaktor
50	81	Nitridierungsreaktor
	81a	Isolierummantelung
	81b	elektrische Heizelemente
	81c	Förderschnecke
	81c'	Hohlwelle der Förderschnecke des Nitridierungsreaktors
55	81d	elektr. Antrieb für Förderschnecke
	83a	Kühlleitungen
	83b	zentrale Eintrittsöffnung für Kühlleitungen in 71
	83c	Steuerventile

83d	Ringleitung
84	Feststoffdosiereinrichtungen mit Rückschlagschutz
85	Füllstutzen
86	Partikelfilter für Gas
5 87	Wärmetauscher
88	Gasverteilungsschacht
89	Durchführungen für Gas
90	Verbindungsflansch
91	Gebläse zur Versorgung des Nitridierungsreaktors
10 92	Gaszuleitung zum Nitridierungsreaktor

Patentansprüche

- 15 1. Meißelantrieb für Werkzeuge zum Zerkleinern spröder Materialien oder zum Eindringen in spröde Materialien unter Schlageinwirkung, wobei der Meißelantrieb ein Meißeldirektantrieb auf Basis einer mit einem gasförmigen Arbeitsmedium betriebenen Wärmekraftmaschine, ausgeführt als ein nach einem realen Stirling-Kreisprozess arbeitender Heißgasmotor, ist und dass der Meißeldirektantrieb einen Druckbehälter (3) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heißgasmotor ein Freikolben-Stirlingmotor in axialer Kolbenanordnung von Arbeitskolben (30g) und Verdrängerkolben (30b) innerhalb des zylindrischen Druckbehälters (3) ist oder der Heißgasmotor ein thermoakustischer Stirlingmotor mit dem überwiegend zylindrischen Druckbehälter (3) ist.
- 20 2. Meißeldirektantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei dem Freikolben-Stirlingmotor Schlagenergie durch mechanische Kollision des Arbeitskolbens (30g) mit einem am Boden des Druckbehälters (3) beweglich geführten Kolben oder Boden (3i) mit einer freien, dem Arbeitsraum (40, 41) des Motors zugewandten Oberfläche ausgekoppelt wird.
- 25 3. Meißeldirektantrieb nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** Schlagenergie durch Übertragung einer oszillierenden Druckschwankung und oszillierenden Bewegung des Arbeitsgases auf einen am Boden des Druckbehälters (3) beweglich geführten Kolben oder Boden (3i) mit freier, dem Arbeitsraum (40, 41) des Motors zugewandten Oberfläche ausgekoppelt wird.
- 30 4. Meißeldirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** ein elektrisches Widerstandsheizelement (5) zur Bereitstellung thermischer Betriebsenergie.
- 35 5. Meißeldirektantrieb nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Energie für die elektrische Widerstandsheizung (5) durch einen Übertage-Stromgenerator oder durch einen von einer Borspülung angetriebenen Imloch-Stromgenerator erzeugt wird.
- 40 6. Meißeldirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** einen von einem heißen Medium zur Bereitstellung thermischer Betriebsenergie durchströmten Wärmetauscher (8).
7. Meißeldirektantrieb nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das heiße Medium aus einer flüssigen oder gasförmigen Reaktionsmischung, oder einem entsprechenden Aerosol oder Suspension eines Feststoffes besteht.
- 45 8. Meißeldirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** einen Brenner (10) mit direkter Flamme zur Bereitstellung thermischer Betriebsenergie.
9. Meißeldirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (14, 15; 14', 15') zur Erzeugung thermischer Betriebsenergie in Form von Reibungswärme.
- 50 10. Meißeldirektantrieb nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einrichtung (14, 15; 14', 15') zur Erzeugung der Reibungswärme von einem mit Bohrspülung betriebenen hydraulischen Motor oder einer hydraulischen Turbine angetrieben wird.
- 55 11. Meißeldirektantrieb nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stirlingmotor im unteren Bereich des zylindrischen Druckbehälters (3) einen zusätzlichen, frei beweglichen Schlagkolben (30h) in einem eigenen Schlagkolbenzylinder (50) aufweist, der den Meißel (2) über einen Amboss (2e) beaufschlagt.

12. Meißeldirektantrieb nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Meißel (2) eine Meißelaufnahme (2a) mit einem Betriebsmechanismus zum rotatorischen Umsetzen eines Meißeleinsatzes (2b) aufweist.

13. Meißeldirektantrieb nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen nach einem realen Stirling-Kreisprozess arbeitenden Heißgasmotor und einen Bohrstrang, mit einem in den Bohrstrang integrierten gasgefüllten Druckausgleichsbehälter (65) für eine Zufuhr oder Abfuhr des gasförmigen Arbeitsmediums unter Verdrängung oder Expansion oder mit einer in den Bohrstrang integrierten Gasgenerator- und Absorbereinheit zur Erzeugung oder Bindung eines Arbeitsmediums aus einem oder in einen Feststoff infolge einer chemischen Reaktion.

Claims

1. Drill bit drive for tools for comminuting brittle materials or for penetrating into brittle materials by percussive action, the drill bit drive being a direct drill bit drive on the basis of a heat engine operated with a gaseous working medium, configured as a hot-gas engine operating in accordance with a real thermodynamic Stirling cycle, and in that the direct drill bit drive comprises a pressure vessel (3), **characterized in that** the hot-gas engine is a free-piston Stirling engine in an axial piston arrangement of the power piston (30g) and the displacer piston (30b) within the cylindrical pressure vessel (3) or the hot-gas engine is a thermoacoustic Stirling engine with the predominantly cylindrical pressure vessel (3).

2. Direct drill bit drive according to Claim 1, **characterized in that** with the free-piston Stirling engine percussive energy is elicited by mechanical collision of the power piston (30g) with a piston or head (3i) that is movably guided on the bottom of the pressure vessel (3) and has a free surface facing the working chamber (40, 41) of the engine.

3. Direct drill bit drive according to Claim 1 or 2, **characterized in that** percussive energy is elicited by transmission of an oscillating pressure fluctuation and oscillating motion of the working gas to a piston or head (3i) that is movably guided on the bottom of the pressure vessel (3) and has a free surface facing the working chamber (40, 41) of the engine.

4. Direct drill bit drive according to one of Claims 1 to 3, **characterized by** an electrical resistance heating element (5) for providing thermal operating energy.

5. Direct drill bit drive according to Claim 4, **characterized in that** the energy for the electrical resistance heating (5) is generated by a power generator at the surface or by a downhole power generator driven by a drilling fluid.

6. Direct drill bit drive according to one of Claims 1 to 3, **characterized by** a heat exchanger (8) flowed through by a hot medium for providing thermal operating energy.

7. Direct drill bit drive according to Claim 6, **characterized in that** the hot medium consists of a liquid or gaseous reaction mixture, or a corresponding aerosol or suspension of a solid.

8. Direct drill bit drive according to one of Claims 1 to 3, **characterized by** a burner (10) with a direct flame for providing thermal operating energy.

9. Direct drill bit drive according to one of Claims 1 to 3, **characterized by** a device (14, 15; 14', 15') for generating thermal operating energy in the form of frictional heat.

10. Direct drill bit drive according to Claim 9, **characterized in that** the device (14, 15; 14', 15') for generating the frictional heat is driven by a hydraulic motor or a hydraulic turbine that is operated with drilling fluid.

11. Direct drill bit drive according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** the Stirling engine has in the lower region of the cylindrical pressure vessel (3) an additional, freely movable striker piston (30h), which is in a striker-piston cylinder (50) of its own and acts on the drill bit (2) by way of an anvil (2e).

12. Direct drill bit drive according to one of the preceding claims, **characterized in that** the drill bit (2) has a drill bit holder (2a) with an operating mechanism for rotational indexing of a drill bit insert (2b).

13. Direct drill bit drive according to one of the preceding claims, **characterized by** a hot-gas engine operating in accordance with a real thermodynamic Stirling cycle and a drill string with a gas-filled pressure-equalizing tank (65) integrated in the drill string for supplying or removing the gaseous working medium by expulsion or expansion or with a gas-generator and absorber unit integrated in the drill string for generating or absorbing a working medium from or into a solid as a result of a chemical reaction.

Revendications

1. Entraînement de trépan pour des outils destinés à concasser des matériaux fragiles ou à pénétrer dans des matériaux fragiles avec un effet de percussion, dans lequel l'entraînement de trépan est un entraînement direct de trépan sur la base d'un moteur thermique fonctionnant avec un fluide de travail gazeux, réalisé sous la forme d'un moteur à air chaud opérant selon un cycle de Stirling réel, et l'entraînement direct de trépan comprend un récipient sous pression (3), **caractérisé en ce que** le moteur à air chaud est un moteur Stirling à piston libre en agencement axial de pistons d'un piston de travail (30g) et d'un piston de refoulement (30b) à l'intérieur du récipient sous pression cylindrique (3) ou le moteur à air chaud est un moteur Stirling thermo-acoustique avec le récipient sous pression (3) essentiellement cylindrique.
2. Entraînement direct de trépan selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, dans le moteur Stirling à piston libre, l'énergie de percussion est déclenchée par collision mécanique du piston de travail (30g) avec un piston ou un fond (3i) guidé de façon mobile au fond du récipient sous pression (3) avec une surface libre tournée vers la chambre de travail (40, 41) du moteur.
3. Entraînement direct de trépan selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'énergie de percussion est déclenchée par transmission d'une fluctuation de pression oscillante et un mouvement oscillant du gaz de travail à un piston ou un fond (3i) guidé de façon mobile au fond du récipient sous pression (3) avec une surface libre tournée vers la chambre de travail (40, 41) du moteur.
4. Entraînement direct de trépan selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé par** un élément chauffant à résistance électrique (5) pour la fourniture d'énergie thermique motrice.
5. Entraînement direct de trépan selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'énergie pour le chauffage par résistance électrique (5) est produite par un générateur électrique de jour ou par un générateur électrique de fosse entraîné par une boue de forage.
6. Entraînement direct de trépan selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé par** un échangeur de chaleur (8) parcouru par un fluide chaud pour la fourniture d'énergie thermique motrice.
7. Entraînement direct de trépan selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le fluide chaud se compose d'un mélange de réaction liquide ou gazeux, ou d'un aérosol correspondant ou d'une suspension d'une matière solide.
8. Entraînement direct de trépan selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé par** un brûleur (10) avec une flamme directe pour la production d'énergie thermique motrice.
9. Entraînement direct de trépan selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé par** un dispositif (14, 15; 14', 15') pour la production d'énergie thermique motrice sous la forme de chaleur de friction.
10. Entraînement direct de trépan selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le dispositif (14, 15; 14', 15') destiné à la production de chaleur de friction est entraîné par un moteur hydraulique mû avec une boue de forage ou par une turbine hydraulique.
11. Entraînement direct de trépan selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le moteur Stirling présente, dans la région inférieure du récipient sous pression cylindrique (3), un piston de percussion supplémentaire (30h), mobile librement, dans son propre cylindre de piston de percussion (50), qui agit sur le trépan (2) par l'intermédiaire d'une enclume (2e).
12. Entraînement direct de trépan selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le trépan (2) présente un logement de trépan (2a) avec un mécanisme d'entraînement pour le déplacement rotatif

d'un insert de trépan (2b).

- 5 **13.** Entraînement direct de trépan selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé par** un moteur à air chaud opérant selon un cycle de Stirling réel et un train de tiges de forage avec un récipient d'équilibrage de pression (65) rempli de gaz intégré dans le train de tiges de forage pour une arrivée ou une évacuation du fluide de travail gazeux avec refoulement ou expansion ou avec une unité de générateur à gaz ou d'absorbeur intégrée dans le train de tiges de forage pour la production ou la liaison d'un fluide de travail à partir d'une matière solide ou dans une matière solide par suite d'une réaction chimique.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

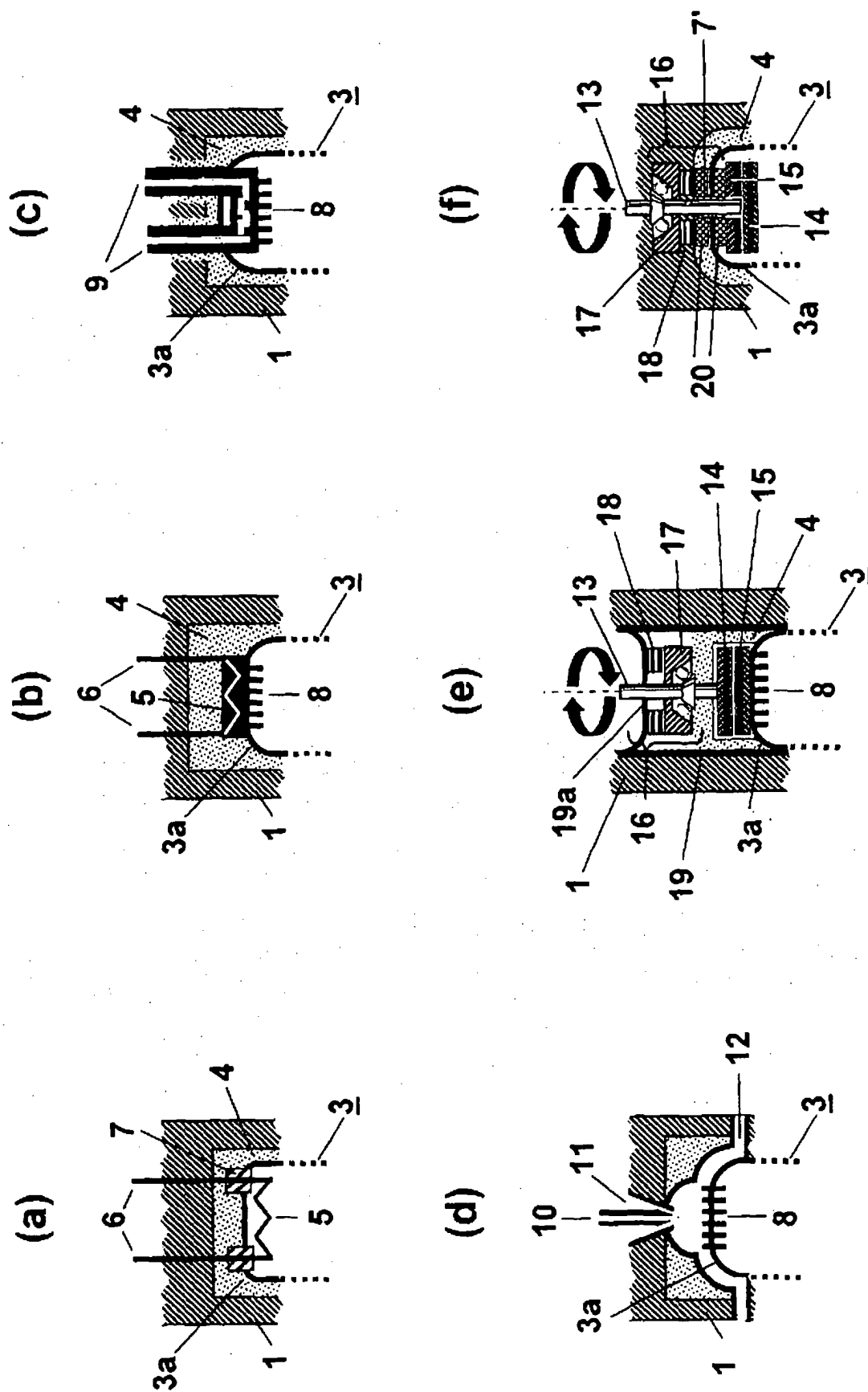


Fig. 2

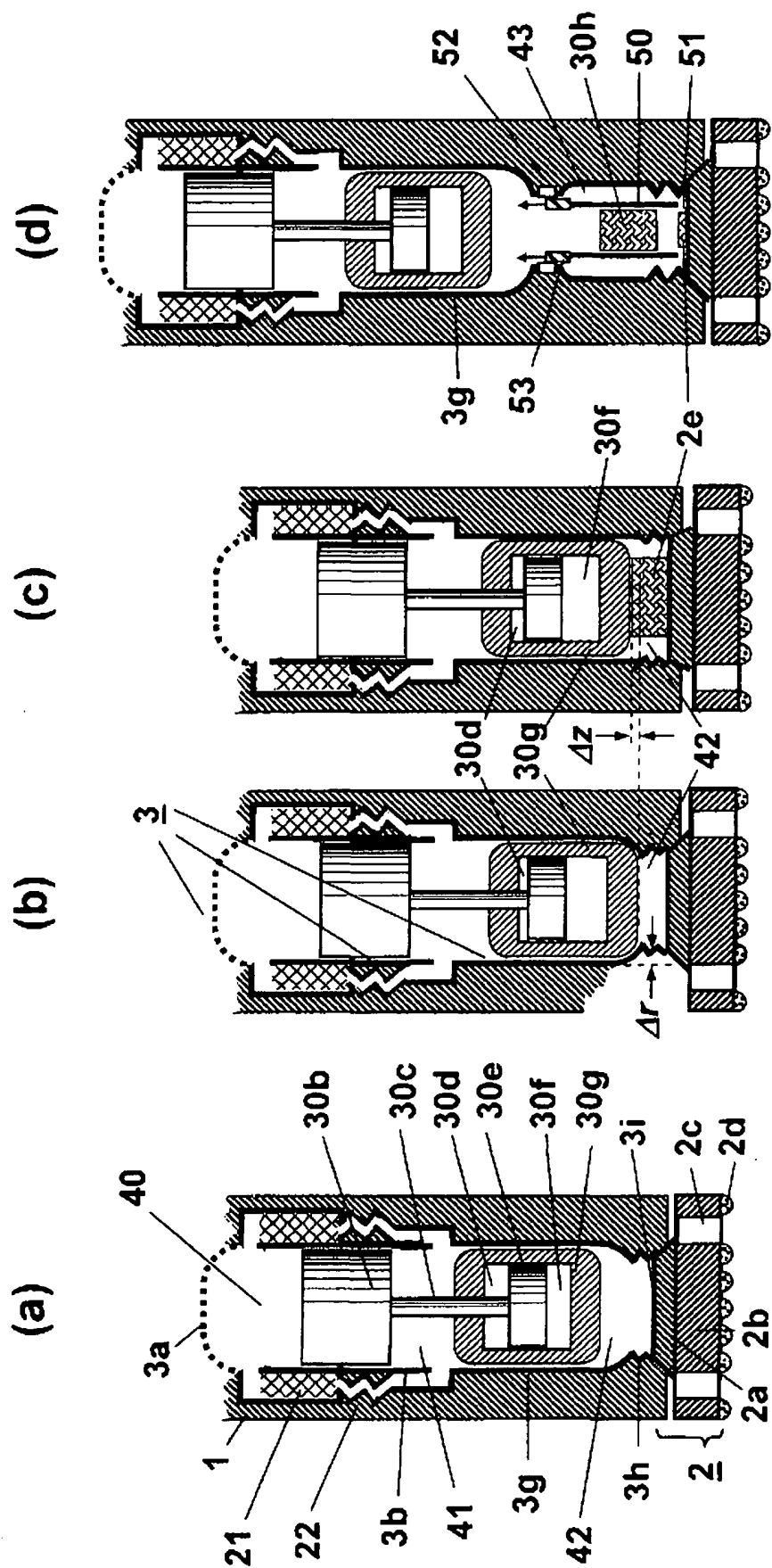


Fig. 3

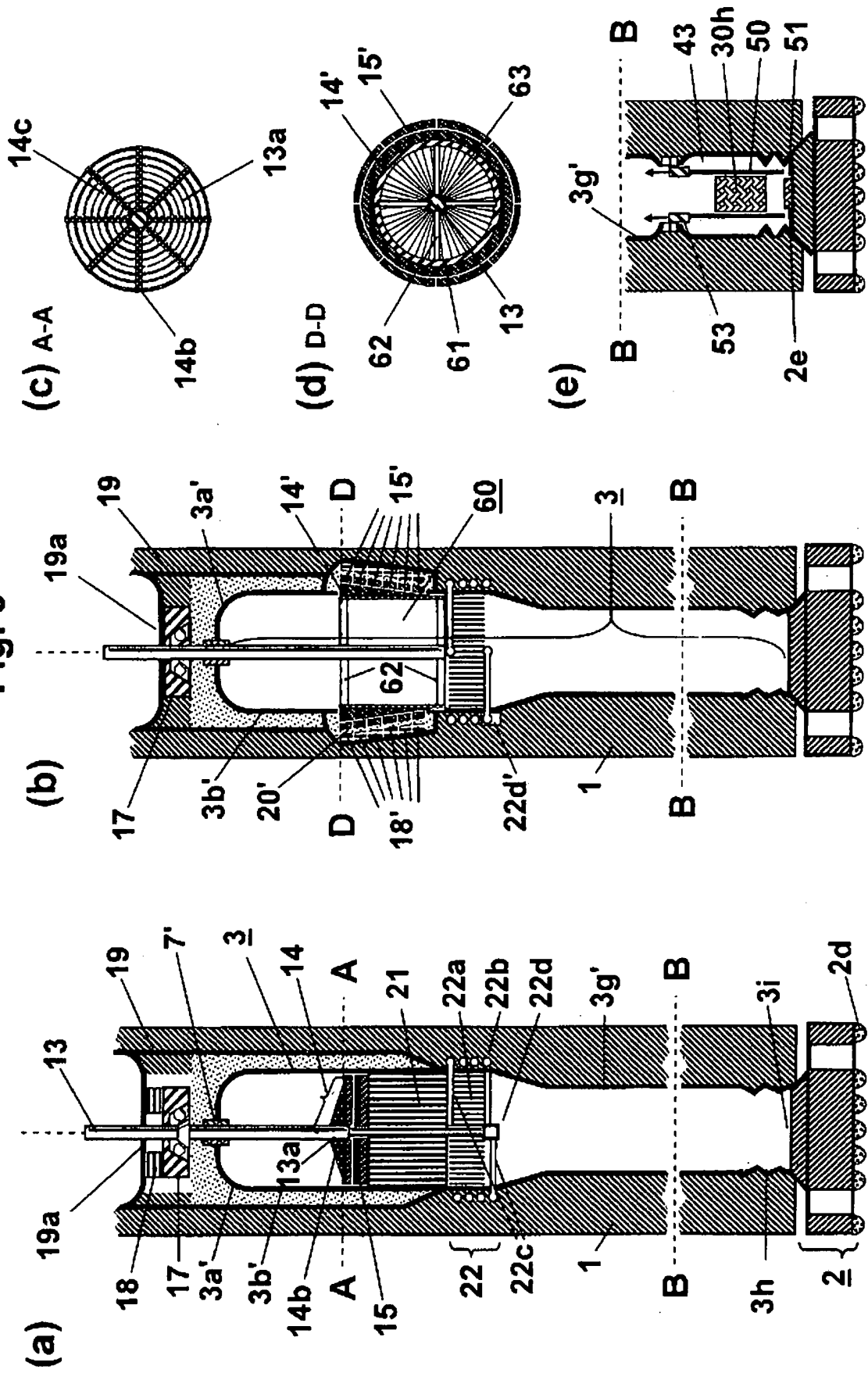


Fig. 4

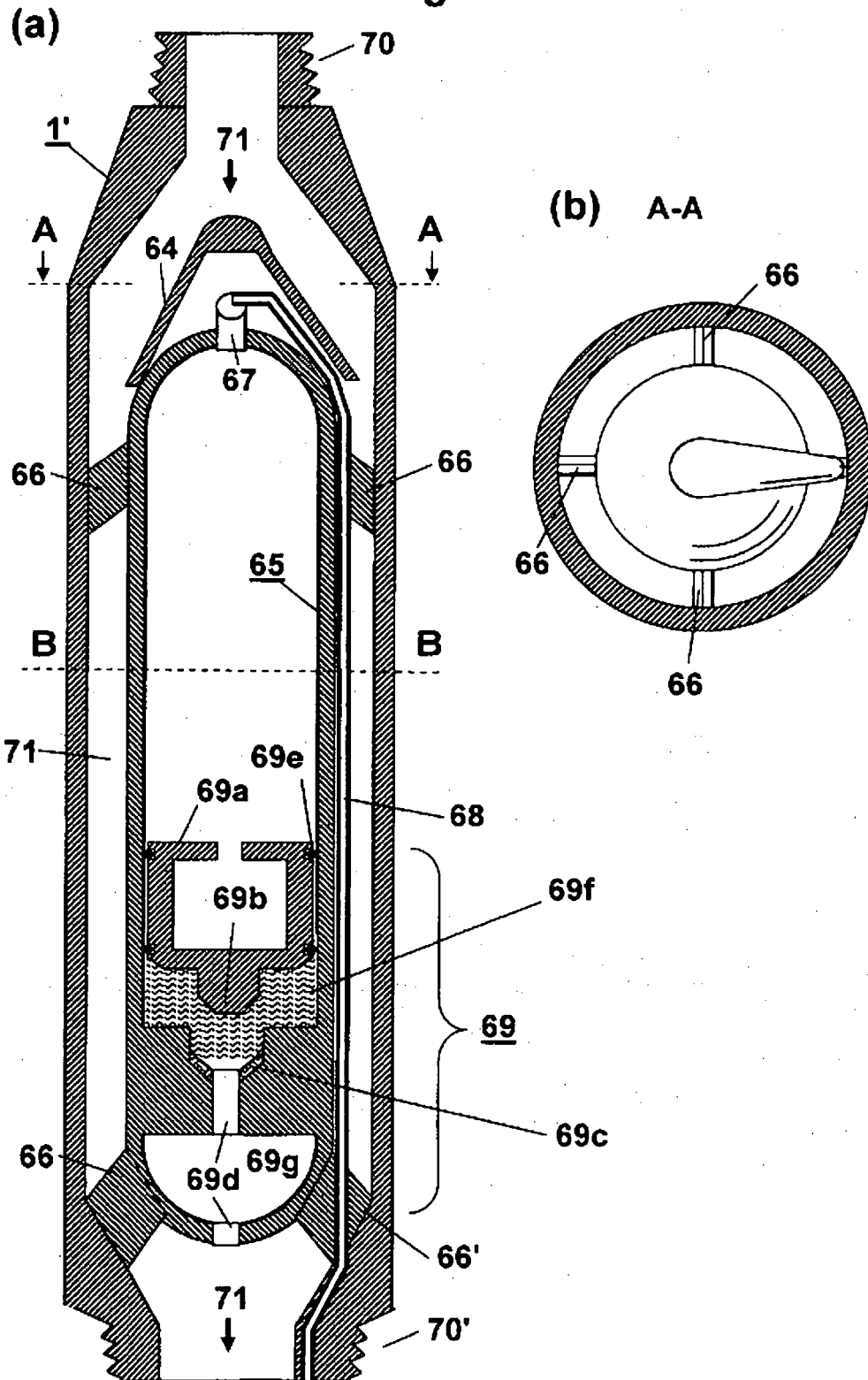
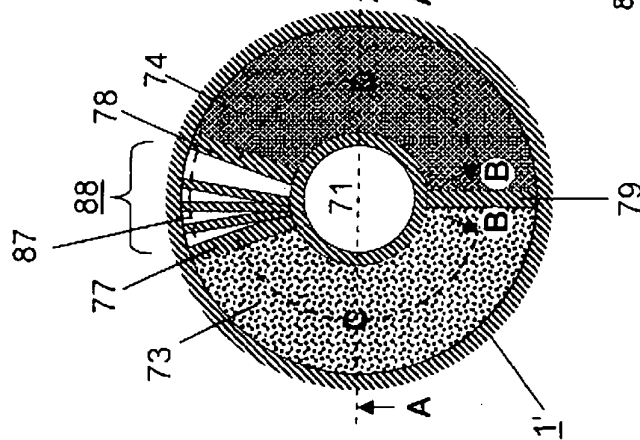
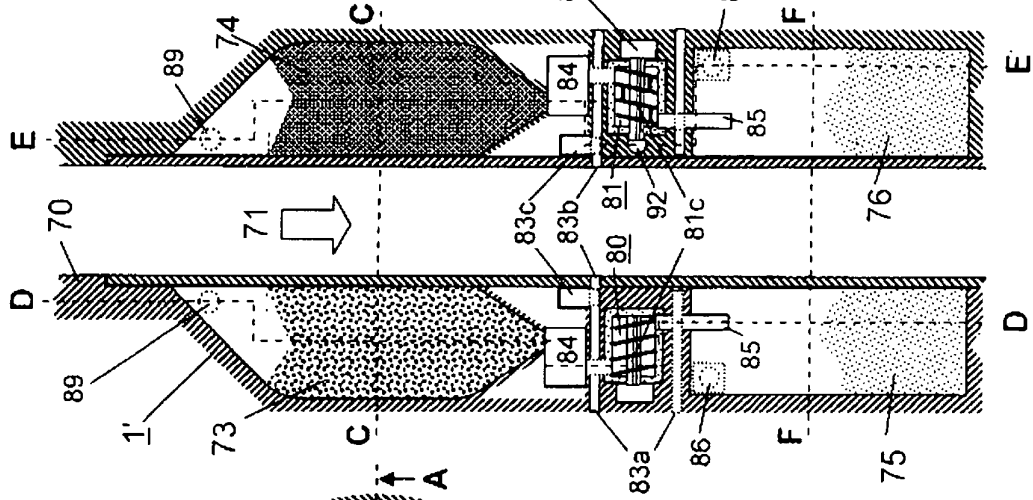


Fig. 5

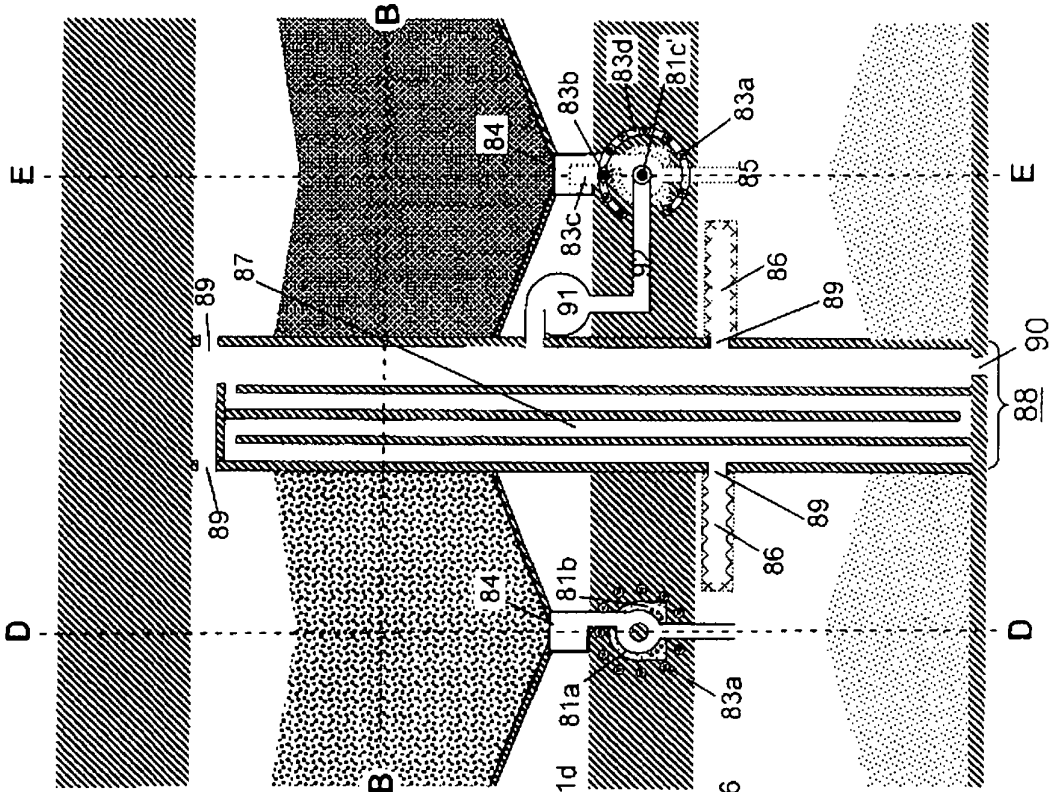
(a) C-C



(b) A-A



(c) B-B D-D E-E



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 0096639 A1 [0007]
- DE 3935252 A1 [0007]
- WO 2001040622 A1 [0009]
- DE 2726729 A1 [0010]
- DE 3029790 A1 [0010]
- SE 153256 C [0011]
- GB 1350646 A [0011]
- US 20030196441 A1 [0022] [0076]
- EP 0886715 A1 [0029]
- DE 19618298 A1 [0029]
- DE 2733300 A1 [0030]
- EP 257744 A2 [0038]
- DE 3029523 A1 [0038]
- DE 4438455 C1 [0051]
- DE 2524479 A1 [0068]
- WO 1995029334 A1 [0069]
- US 3865660 A [0098]
- US 4376002 A [0099]
- WO 002002090254 A1 [0103]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **G.H. JANG et al.** Tribological Properties of C/C-SiC Composites for Brake Discs. *Met. Mater. Int.*, 2001, vol. 16 (1 [0051]