



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 09 748 T2 2004.04.22**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 053 395 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 09 748.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE99/00074**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 903 995.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/037904**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.01.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **29.07.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.11.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **23.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.04.2004**

(51) Int Cl.⁷: **F02G 5/04**
F01K 21/04

(30) Unionspriorität:
9800191 23.01.1998 SE

(73) Patentinhaber:
Wärtsilä Technology Oy AB, Helsinki, FI

(74) Vertreter:
**Richter, Werdermann, Gerbaulet & Hofmann,
20354 Hamburg**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:
CHOMIAK, Jerzy, S-412 62 Göteborg, SE

(54) Bezeichnung: **KOMBINIERTE DIESEL-DAMPF KREISLAUFMASCHINE**

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

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kolben-Wärme-Motor, bei dem Verdichtungszündung, begrenzte Druck-Takte (Diesel) und Dampf-Takte (Rankine) unter gleichzeitiger Nutzung ein und derselben Zylinder ausgeführt werden.

Stand der Technik

[0002] Bei Motoren mit Verdichtungszündung mit begrenztem Druck (Diesel) wird flüssiger Kraftstoff in die Druckluft in den Zylindern eingespritzt. Der Großteil der Verbrennung findet auf der stöchiometrischen Oberfläche einer Diffusionsflamme statt, welche die sauerstoffreichen Hochtemperaturbereiche von den kraftstoffreichen Hochtemperaturbereichen trennt. Das Vorhandensein der sauerstoffreichen Hochtemperaturzonen führt zum Anfall großer Mengen Stickstoffoxide (NO_x), und das Vorhandensein der kraftstoffreichen Hochtemperaturzonen führt zum Anfall von Ruß (Rußpartikel). Aus diesem Grund gelten Dieselmotoren vielfach als stark umweltverschmutzend. Ein weiteres Merkmal der Motoren besteht darin, dass die Abgase heiß sind und die Luft und die Zylinderwände gekühlt werden müssen, was zu beträchtlichen Wärmeverlusten führt, welche die Wärmeleistung der Motoren verringern. Bei Rankine-Takt-Motoren (Dampf) wird Wasser durch Erhitzen verdampft, und der erzeugte Dampf wird zur Erzeugung von mechanischer Energie genutzt. Die Diesel-Rankine-Takt-Kombination wird oft genutzt, um die Abwärme des Dieselmotors (oberer Motor) zu nutzen, wobei der Rankine-Takt jedoch typischerweise in einem separaten (unteren) Motor abläuft. Ein Beispiel einer solchen Lösung wird zum Beispiel im US-Patent Nr. 5133298 beschrieben. Es handelt sich dabei eindeutig eine relativ teure und potenziell problematische Lösung.

[0003] In einer Reihe von Patenten, zum Beispiel US-Patent Nr. 4377934, 4406127, 4706468 und US-Patent Nr. 4901531, werden verschiedene Versionen des Boden-Dampftaktes vorgeschlagen, bei denen mindestens ein Zylinder des Verbrennungsmotors als Dampfkraftrückgewinnungsvorrichtung genutzt wird, was in der Tat eine Abwandlung gegenüber den klassischen Motoren mit kombiniertem Takt darstellt. In einem anderen Patent, US-Patent Nr. 4433548, wird der Einsatz der gleichen Zylinder alternativ für den Verbrennungs- und den Dampfkrafttakt beschrieben. Ein weiteres Patent, US-Patent 4409932, sieht für einen Benzinkraftfahrzeugmotor die Einspritzung des Dampfes während des Krafttakts, d. h. nach der Verbrennung, vor. Ein Nachteil all dieser Lösungen besteht darin, dass die Emissionen der kombinierten Systeme die gleichen sind wie beim Verbrennungsmotor (oberem Motor). Viele Patente, zum Beispiel die US-Patente Nr. 3761019, 4014299,

4027630, 4059078, 4391229, 4409931, 4844028, beschreiben die Dampfeinspritzung in den Ansaugkrümmer von Motoren für das Steuern von Kraft, Klopfen oder NO_x . Diese Lösungen sorgen jedoch nicht unbedingt für eine erhöhte Leistung. In einigen Patenten, US-Patente Nr. 3948235 und 4913098, wird eine Vorverdichtung des Motors vorgeschlagen, indem entweder der Dampf eines dampfgetriebenen Kompressors oder eines Kompressors und Ejektors genutzt wird. Die Leistungssteigerung durch die Lösungen ist relativ gering, ebenso wie bei den Lösungen, die in den US-Patenten Nr. 4301655, 4402182 und 4402182 beschrieben werden, wo spezielle Zylinderköpfe, bei denen Dampf verdampft und in die Motoren eingespritzt werden kann, beschrieben werden, da bei diesen Lösungen nur die Zylinderkopf-Kühlwärme für den Krafttakt genutzt wird. Das Vormischen des Kraftstoffs mit Wasser, das Verdampfen des Gemisches und die Verwendung des verdampften homogenen Dampf-Kraftstoff-Gemisches als modifizierter Kraftstoff werden in den US-Patenten Nr. 4909192 beschrieben. Für die Nutzbarmachung des vollen Potenzials des Systems müssen das Dampf-Kraftstoff-Massenverhältnis im Bereich von 1 : 3 und die Dampftemperatur bei über 500°C liegen. Die massive Dampfeinspritzung im vorgemischten Modus kann zu gravierenden Zündungsproblemen führen, während das Vorerhitzen des Kraftstoffs auf die erforderlichen Temperaturen selbst beim Vorhandensein von Wasser zu einer beträchtlichen Kraftstoffzersetzung und Ölkohleablagerung im Kraftstoff-/Dampfsystem führen kann. Somit erscheint die Lösung, insbesondere für Schweröl-Betrieb, als nicht praktikabel.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das maximale Krafterzeugungspotenzial eines kombinierten Diesel-Rankine-Takts auf wesentlich einfachere Weise sowie ohne eine Störung der Zündungsprozesse im Motor und ohne Kraftstoffzersetzung zu erzielen und gleichzeitig das volle Emissionsminderungspotenzial der Dampfeinspritzung zu erreichen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Das vorstehend genannte Ziel wird erreicht, indem die größtmögliche Menge der Abwärme, d. h. der Luft- und Zylinderkühlwärme einschließlich der Zylinderkopf-Kühlung und des Abgases des Verbrennungsmotors (Dieselmotors) genutzt wird, um Dampf zu erzeugen, der dann wieder in die Zylinder des Verbrennungsmotors (Dieselmotors) eingespritzt wird, und zwar in der Nähe des oberen Totpunktes, so dass der Dampf den Verbrennungsprozess aktiv ändert, ohne die Zündung zu stören. Auf diese Weise wird das maximale Potenzial der Diesel-Rankine-Takt-Kombination erreicht, wobei gleichzeitig die gleichen Zylinder und Kolbenmechanismen genutzt werden. Dies vereinfacht das System und verringert wesentlich dessen Kosten. Darüber hinaus werden

die Höchsttemperaturen in den Zylindern, die während der voll ausgebildeten Verbrennung erreicht werden, reduziert, was die NO_x -Emissionen und das Vermischen von Verbrennungsgasen mit Restluft, welches während des Nachbrennens verstärkt auftritt, radikal verringert und zu einer Reduzierung von Rußemissionen führt. Um die Zielstellungen der Erfindung bei einer Reihe von Motorlasten zu erreichen, sollte die Geschwindigkeit der Wassereinspritzung in den Dampferzeuger proportional zum durchschnittlichen Kraftstofffluss sein, so dass Gleichgewicht von angemessener Motorleistung und Dampfmasseneinspritzung aufrecht erhalten wird. In einer anderen Ausführungsform wird ein kleiner Teil des Dampfes, typischerweise weniger als 10% der Kraftstoffmasse, für eine schnelle Zerstäubung des Kraftstoffes ohne den Einsatz von teuren Druck-Kraftstoff-Einspritzsystemen genutzt.

[0006] Somit bietet die Erfindung eine einfache, jedoch effektive Lösung für seit langem bestehende Probleme kombinierter Diesel-Rankine-Takt-Motore. Die vorstehenden und weitere Aufgaben und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung, die unter Bezugnahme auf die beigegeführten Zeichnungen einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0007] **Fig. 1** ist eine schematische Teilansicht eines Zylinders eines Dieselmotors und Motors, in dem die Merkmale der Erfindung umgesetzt sind, wobei die Komponenten so angeordnet sind, dass sie die Kraftstoff- und Dampfeinspritzphase des arbeitenden kombinierten Motors veranschaulichen.

[0008] **Fig. 2** ist eine Teilansicht der Dampf-Düsen (S) und Kraftstoff-Düsen (F) bei Verwendung eines gemeinsamen Einspritzsystems.

[0009] **Fig. 3** ist eine Teilansicht der Dampf-Einspritzung (S) auf einer anderen Ebene zu den Kraftstoff-Einspritzdüsen (F).

[0010] **Fig. 4** ist eine Teilansicht der Dampf-Einspritzung (S) an der Peripherie des Zylinders in der tangential zur Wand verlaufenden Richtung.

[0011] **Fig. 5** ist eine Teilansicht der Vorkammer für die Anfangsverbrennung des Kraftstoffes (F), die an die Stelle des direkten Kraftstoffeinspritzsystems **8** aus **Fig. 1** tritt.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0012] Für die Vereinfachung der Beschreibung zeigen die Zeichnungen nur einen Zylinder eines Motors, der jede gewünschte Anzahl von Zylindern einschließen kann. Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst der Motor einen Zylinder **1**, in dem ein Kolben **3** gezeigt ist, der in herkömmlicher Weise durch eine Pleuelstange **2** mit einer Kurbelwelle verbunden ist, von der die Ausgangsleistung abzunehmen ist. Der Kolben ist durch Kolbenringe **4** verschlossen, und der Zylinder

der ist durch einen Zylinderkopf **5** verschlossen, in dem ein Einlassventil **6**, ein Auslassventil **7**, eine Kraftstoffeinspritzvorrichtung **8** und ein Dampfeinlass **9** angeordnet sind. Der Dampfeinlass wird durch ein Dampfeinspritzventil **10** gesteuert, das Dampf zu einem ausgewählten Zeitpunkt in der Nähe des oberen Totpunktes vor, während und nach der Verbrennung einlässt. Der Dampf wird in einem symbolisch gezeigten Kessel **12** erzeugt, in dem Dampfrohre **11** und ein Dampfsammler **13** angeordnet sind. Der Kessel nutzt Wärme aus dem Heißwasser, das für die Kühlung der Zylinderwand, des Zylinderkopfes sowie der Einlassluft verwendet wird, und aus den Abgasen. Wasser wird über ein Wasserrohr **14** durch eine Pumpe **15** in den Kessel gepumpt, und zwar in einer Geschwindigkeit, die proportional zur Kraftstoffpumpgeschwindigkeit ist. Der Dampfdruck wird durch die Wasserzuführungsgeschwindigkeit und durch die Einspritzzeit gesteuert. Ein kleines Steuervolumen **16** ist vor dem Dampfeinlassventil vorgesehen, in das der Dampf über eine Fließdrosselung **17** eintritt. Das Öffnen des Dampfventils **10** verursacht einen Druckabfall im Steuervolumen **16**, der mit einem Drucksensor **18** gemessen wird. Die Überwachung des Druckabfalls liefert erforderliche Informationen zum Funktionieren des Ventils. Insbesondere können auf diese Weise ein träges Funktionieren oder ein Festfressen der Dampfeinspritzventile und Dampflecks an den Zylindern festgestellt werden.

[0013] Auf einfachste Weise kann die vorliegende Erfindung bei Verwendung eines Dieselmotors realisiert werden, der für Dual-Flüssigkeits-/Benzin-Kraftstoff-Betrieb ausgelegt ist. Bei dieser Lösung wird flüssiger Kraftstoff (F) separat über das Standardeinspritzsystem eingespritzt, während der Dampf (S) über die Einspritzer für Benzin-Kraftstoff eingespritzt wird. Dies ist in **Fig. 2** dargestellt, in der die separaten Kraftstoff-Düsen (F) und Dampf-Düsen (S) gezeigt sind. Bei einer anderen Lösung, die in **Fig. 3** gezeigt ist, wird der Dampf (S) am Boden der Verbrennungskammer unterhalb der Kraftstoff-Düsen (F) eingespritzt. In beiden Fällen erfolgt das Timing der Einspritzdüse derart, dass das Einspritzen von Dampf die Kraftstoffeinspritzung bis zur Zündung nicht stört. Bei einem anderen System, das in **Fig. 4** gezeigt ist, erfolgt das Einspritzen von Dampf (S) an der Zylinderperipherie tangential zur Zylinderwand. Die Einspritzung erzeugt eine schnell wirbelnde Dampfschicht. Die Trägheitskräfte (radiale Beschleunigung) halten den Dampf an der Peripherie fest und verhindern die Vermischung von Dampf und Luft bis zur Zündung. Dann büßt die Dampfschicht aufgrund der starken Störung der Dampfschicht infolge des durch die Zündung erzeugten Druckimpulses Stabilität ein und vermischt sich sehr schnell mit dem Benzin. Da der Verbrennungsprozess zu diesem Zeitpunkt bereits in vollem Gang ist, wird er durch die Vermischung nicht beeinträchtigt, sondern diese ist gleichzeitig wesentlich für die NO_x - und Rußemissionsregulierung. Eine weitere Möglichkeit der praktischen Um-

setzung der Erfindung besteht in der Aufteilung der Verbrennungskammer des Dieselmotors in zwei Teile: einen Teil für die Zündung und die erste Verbrennungsstufe, wo kein Dampf zugelassen wird, und einen anderen Teil, wo der Dampf eingespritzt wird und das Nachbrennen des teilweise umgesetzten Kraftstoffs aus der ersten Stufe im Dampf-Luft-Gemisch erfolgt. Dies ist in **Fig. 5** veranschaulicht, in der nur die Vorkammer gezeigt ist, die an die Stelle des Kraftstoffeinspritzsystems **8** aus **Fig. 1** tritt. In den letzten beiden Fällen kann der Dampf geraume Zeit vor dem Kraftstoff eingespritzt werden, da die Zündung durch den Dampf nicht gestört wird.

[0014] Ein weiteres System nutzt eine kleine Dampfmenge, typischerweise weniger als 10%, um den Kraftstoff unter Druck einzuspritzen und zu zerstäuben. Das System ist demjenigen vergleichbar, das bei frühen Dieselmotoren verwendet wurde, wo der Kraftstoff mittels Druckluft zerstäubt wurde. Aus dem frühen Stadium der Entwicklung von Dieselmotoren ist bekannt, dass die Luft-Druckeinspritz-Systeme sehr gut funktionieren, die Kompression der Luft auf erforderliche sehr hohe Drücke jedoch ein komplizierter und energieintensiver Prozess war, der hier durch Dampfeinblasen unter Druck ersetzt wird, indem Motorabwärme für die Dampferzeugung genutzt wird, das heißt als primäre Energiequelle.

[0015] Die Erfindung wurde zwar unter Bezugnahme auf bestimmte Ausführungsformen beschrieben, jedoch ist davon auszugehen, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsformen beschränkt ist, sondern in breitem Maße innerhalb des Umfangs der beigefügten Ansprüche variiert werden kann.

[0016] Das Verhältnis von Wasserdampfmasse zu Kraftstoffmasse beträgt vorzugsweise 1 : 1 bis 3 : 1; die Temperatur des Dampfes weniger als 580°C und der Dampfdruck weniger als 180 bar. Es kann gezeigt werden, dass in Abhängigkeit von der Menge und den Parametern des Dampfes der Einsatz von Dampf wie oben beschrieben eine Zunahme der Kolben-Wärmeleistung der Dieselmotore um einen Faktor bis zu 1,32, eine Verringerung der NO_x-Emissionen um einen Faktor bis zu 4 und eine wesentliche Verringerung der Rußemissionen bewirken kann. Die Motoren sind besonders geeignet für Hochleistungsbetrieb, stationären Betrieb und Betrieb auf Schiffen, wo Schwer- und Restkraftstoffe verbrannt werden und wo der Raumbedarf für Hilfsdampferzeugungssysteme keine wesentliche Rolle spielt.

Patentansprüche

1. Verfahren für das Betreiben eines Diesel-Rankine-Takt-Kolbenmotors, wobei dieser Motor mindestens umfasst: einen Zylinder (**1**), in welchem Kraftstoff verbrannt wird, einen Kolben (**3**), der für eine hin- und hergehende Bewegung innerhalb dieses Zylinders angeordnet ist, ein Luft- und Zylinderkühlsystem, ein Auspuffsystem, das diesem Zylinder für das Abführen von Abgasen aus diesem Zylinder zugeord-

net ist, und ein Dampfeinspritzventil (**10**) für die Zuführung von Dampf in diesen Zylinder aus einer Vorrichtung (**12**) für das Erzeugen von Dampf, wobei dieses Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Entzug von Wärme aus dem Kühlsystem und von Abgasen für die Erzeugung von Dampf in der Vorrichtung (**12**) für die Erzeugung von Dampf, und separate Zuführung dieses Dampfes und des Kraftstoffes in den Zylinder (**1**), wobei der Dampf über das Dampfeinspritzventil (**10**) zugeführt wird, wenn der Kolben (**3**) in der Nähe des oberen Totpunktes ist, dergestalt, dass der Dampf und der Kraftstoff dazu gebracht werden, erst im Zylinder (**1**) zusammenzuwirken, sobald die Zündung zustande gekommen ist, wodurch sich der Dampf mit dem brennenden Kraftstoff vermischt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf an der Zylinderperipherie tangential zur Zylinderwand eingespritzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf über eine gemeinsame Einspritzdüse mit dem Kraftstoff eingespritzt wird, jedoch in Form von separaten Strahlen, die vorzugsweise unterschiedliche Einspritzwinkel aufweisen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf auf einer anderen Ebene als der Kraftstoff und an einer anderen Stelle eingespritzt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftstoff in eine separate Kammer eingespritzt wird, wodurch verhindert wird, dass sich Dampf und Kraftstoff vor der Zündung vermischen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von Wasserdampfmasse zu eingespritztem Kraftstoff im Bereich von 1 : 1 bis 3 : 1 liegt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf auf maximale Temperaturen überhitzt wird, die nur durch die Eigenschaften der bei der Dampferzeugungsvorrichtung eingesetzten Materialien begrenzt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampfdruck nur durch die Eigenschaften der bei der Dampferzeugungsvorrichtung eingesetzten Materialien begrenzt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein kleiner Teil des Dampfes, vorzugsweise weniger als 10% der eingespritzten Kraftstoffmasse, genutzt wird, um

den Kraftstoff einzuspritzen und zu zerstäuben.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Hilfsheizer eingesetzt werden, um die Dampfparameter zu ändern, im besonderen für den überhitzten Betrieb.

11. Nutzung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, um den maximalen Druck und die maximale Energiefreisetzungsrate im Zylinder (1) zu steuern.

12. Kombinierte Diesel-Rankine-Takt-Kolbenmotor, wobei dieser Motor umfasst: mindestens einen Zylinder (1), einen Kolben (3), der für eine hin- und hergehende Bewegung innerhalb dieses Zylinders angeordnet ist, Einspritzvorrichtung für die Zuführung von Kraftstoff in diesen Zylinder, ein Luft- und Zylinderkühlsystem und ein Auspuffsystem, das diesem Zylinder (1) zugeordnet ist, eine diesen Kühl- und Auspuffsystemen zugeordnete Vorrichtung für die Rückgewinnung von Wärme aus diesem System, und ein Dampfeinspritzventil (10) für die Zuführung von Dampf, separat vom Kraftstoff, in den Zylinder aus der Vorrichtung (12) für die Erzeugung von Dampf, welche diese zurückgewonnene Wärme nutzt, wobei das Dampfeinlassventil (10) dergestalt angeordnet ist, dass es so funktioniert, dass der Dampf in den Zylinder zugeführt wird, wenn der Kolben (3) in der Nähe des oberen Totpunktes ist, dergestalt, dass der Dampf und der Kraftstoff dazu gebracht werden, erst im Zylinder (1) zusammenzuwirken, sobald die Zündung zustande gekommen ist, wodurch sich der Dampf mit dem brennenden Kraftstoff vermischt.

13. Motor nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorkammer im Dampfzuführungssystem vor dem Dampfeinspritzventil (10) vorgesehen ist, das eine Flussbegrenzungsöffnung aufweist und mit einem Drucküberwachungssystem ausgestattet ist, um den Betrieb des Dampfeinspritzventils zu kontrollieren, im besonderen hinsichtlich von Festfressen des Ventils, einer trägen Funktion und Leckage.

14. Motor nach Anspruch 12 oder Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorrichtung für die Erzeugung von Dampf bei einer Geschwindigkeit, die proportional zur Geschwindigkeit des Kraftstoffflusses ist, bereitgestellt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

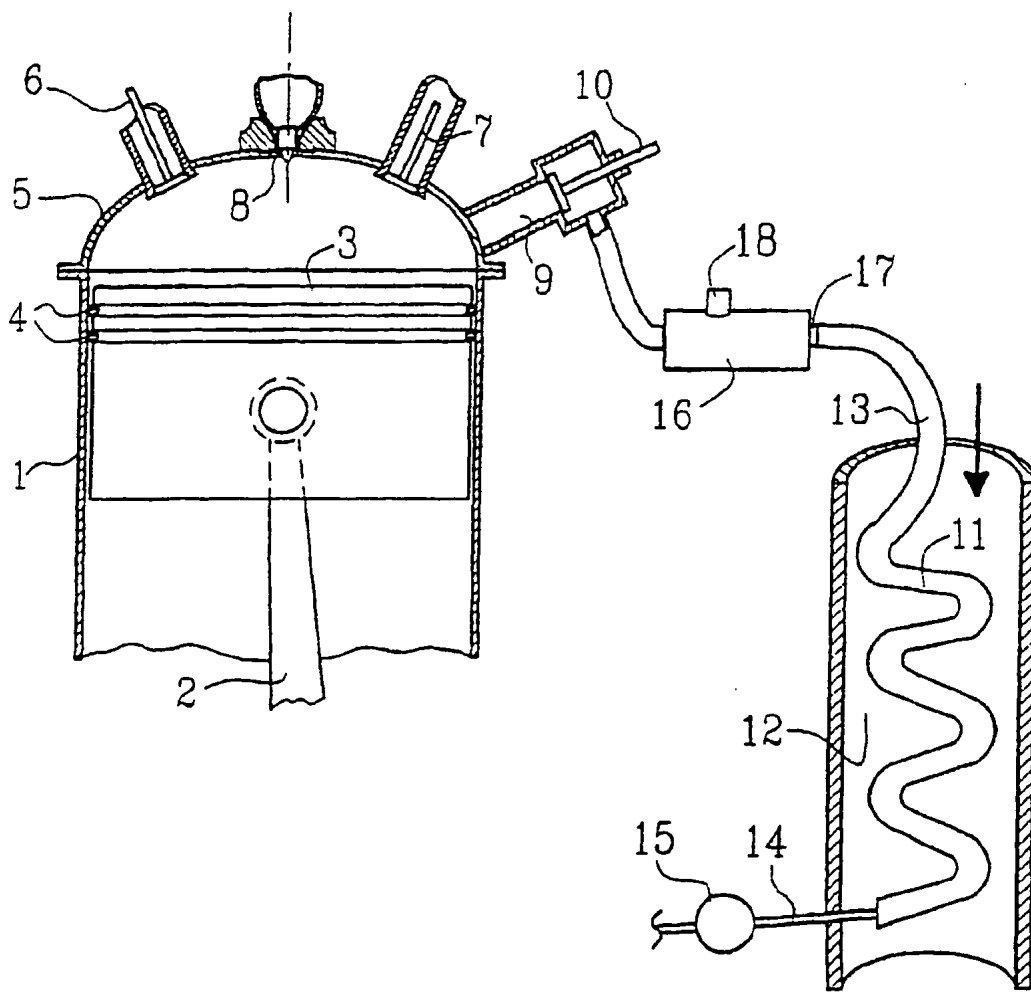


FIG. 1

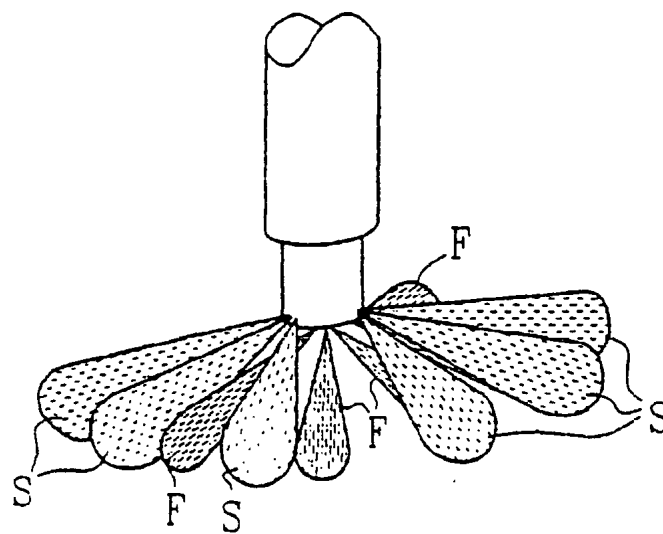


FIG. 2

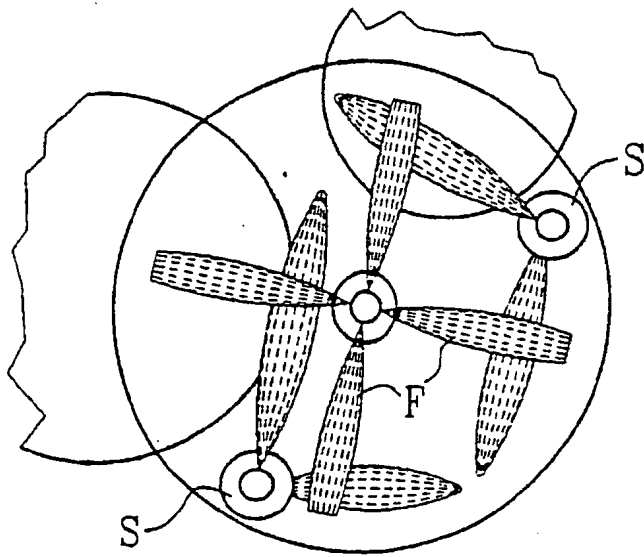


FIG. 3

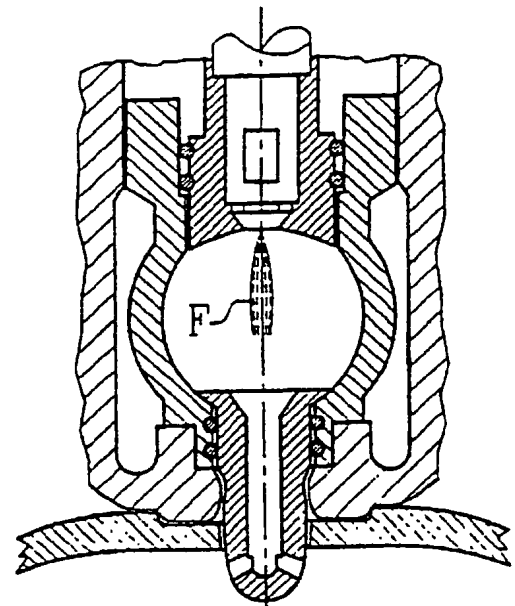


FIG. 5

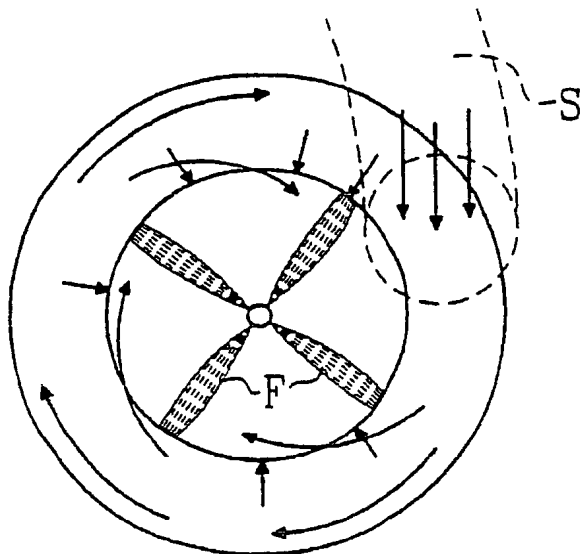


FIG. 4