



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 375 859 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.01.2004 Patentblatt 2004/01

(51) Int Cl.7: **F02B 33/42, F04F 11/02**

(21) Anmeldenummer: **03405381.9**

(22) Anmeldetag: **27.05.2003**

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

(72) Erfinder:
• **Wenger, Urs**
4900 Langenthal (CH)
• **Martin, Roger**
5504 Othmarsingen (CH)

(30) Priorität: **28.06.2002 EP 02405544**

(74) Vertreter:
AMMANN PATENTANWAELTE AG BERN
Schwarztorstrasse 31
3001 Bern (CH)

(71) Anmelder: **Swissauto Engineering S.A.**
1037 Etagnières sur Lausanne (CH)

(54) **Verfahren zur Regelung einer Verbrennungsmaschine mit einer Gasdynamischen Druckwellenmaschine**

(57) Das Verfahren zur Regelung einer Verbrennungsmaschine mit einer gasdynamischen Druckwellenmaschine, wobei die gasdynamische Druckwellenmaschine ein drehbares Gehäuse, um die Prozessabstimmung über den ganzen Kennfeldbereich der Verbrennungsmaschine abzustimmen, und eine variable Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanal enthält folgende Punkte, wobei in jedem Kennfeldbereich eine bestimmte Reihenfolge der Regelung eingehalten wird, wobei bei einem positiven Lastsprung

die Drehzahl und das Gehäuse der gasdynamischen Druckwellenmaschine mit geeigneten Mitteln auf die im Kennfeld abgespeicherte optimale Position eingestellt werden,
die variable Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals auf den aus dem Kennfeld benötigten Ladedruck eingeregelt wird; und

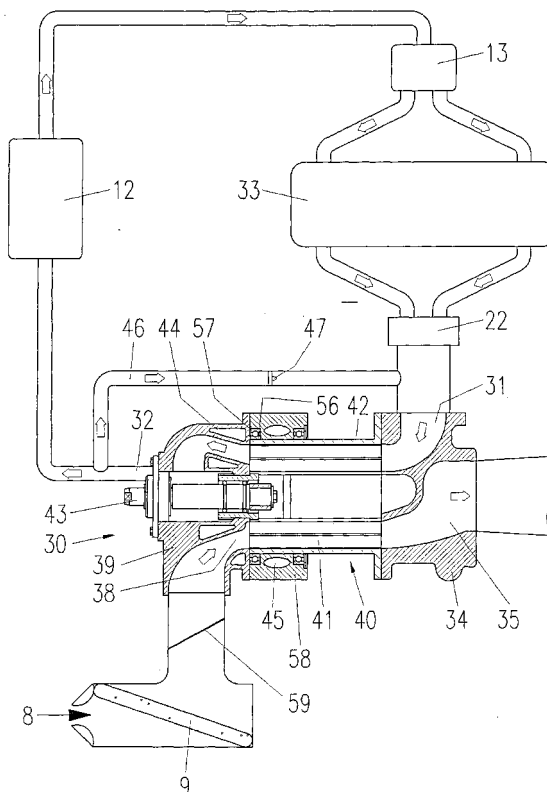
bei negativem Lastsprung

die Drehzahl und das Gehäuse der gasdynamischen Druckwellenmaschine mit geeigneten Mitteln auf die im Kennfeld abgespeicherte optimale Position eingestellt werden und
die variable Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals möglichst weit geöffnet wird, um die Druckdifferenz von Hochdruckladeluft zu Hochdruckabgas möglichst gering zu halten.

Eine solche Regelungsfolge schützt die gasdynamische Druckwellenmaschine vor Beschädigungen und optimiert den Betrieb und die Leistung der Verbren-

nungsmaschine.

FIG. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Regelung einer Verbrennungsmaschine mit einer gasdynamischen Druckwellenmaschine gemäss Oberbegriff von Patentanspruch 1. Eine gasdynamische Druckwellenmaschine, die bestimmt ist, einer Verbrennungsmaschine Ladeluft zuzuführen, ist aus der WO 99/11913 des gleichen Anmelders bekannt. Insbesondere werden darin ein verdrehbares Luftgehäuse offenbart, um die Öffnungen einer der beiden Hochdruckkanäle in Bezug auf die anderen Öffnungen des anderen Hochdruckkanals auszurichten, um eine Prozessabstimmung über den ganzen Kennfeldbereich der Verbrennungsmaschine zu erzielen sowie eine variable Breitenverstellung des Hochdruck-Abgaskanals und weitere Merkmale.

[0002] Des Weiteren ist aus der Veröffentlichung "Modeling and Model-based Control of Supercharged SI-Engines" vom Labor für Verbrennungsmaschinen der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich bekannt, bestimmte Messungen an einer gasdynamischen Druckwellenmaschine vorzunehmen, die auf oben angegebener Patentanmeldung beruht.

[0003] Man kann das Fahrverhalten zunächst grob in zwei Stufen einteilen, d.h. die Beschleunigungs- und Bremsstufe sowie die Konstantstufe. Bei der ersten Stufe unterscheidet man zwischen zwei Phasen, einem positiven Lastsprung beim Gasgeben sowie einen negativen Lastsprung beim Abbremsen, bzw. Gaswegnehmen. Die zweite Stufe kann man in drei Phasen unterteilen, Teillastphase, Leerlaufphase und konstante Vollastphase.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere den positiven Lastsprung beim Gasgeben sowie den negativen Lastsprung beim Gaswegnehmen bzw. Abbremsen mit anschliessendem Teillastverhalten.

[0005] Versuche haben ergeben, dass zur Luftseite der gasdynamischen Druckwellenmaschine durchdringende Abgase wegen falschen Drehzahlen, falscher Gehäusedrehung, geschlossener Drosselklappe, zu stark geschlossener oder hängen bleibender Breitenverstellung des Hochdruck-Abgaskanals oder variablem Gastaschenuzufluss oder falsch eingestellter Wirkungsgradsteigerung durch Verwendung einer Bypassleitung zwischen dem Frischluft- und Abgasteil, der Druckwellenlader beschädigt werden kann, beispielsweise die Lagerung des Rotors durch Streifen an den Gehäusen oder durch hohe Abgasrezirkulation und/oder zu niedrigem Ladedruck und/oder zu hoher Ladelufttemperatur der Motorbetrieb gestört wird.

[0006] Aus diesen Studien ergibt sich, dass in Bezug auf die oben angegebenen Phasen eine gewisse Ordnung bezüglich der Regelung der einzelnen Vorgänge von Vorteil ist, und es ist daraus folgend die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die oben angegebenen Störungen oder Beschädigungen der gasdynamischen Druckwellenmaschine zu vermeiden und eine höhere

Leistung und einen niedrigeren Verbrauch zu erzielen. Die Aufgabe wird mit dem Verfahren zur Regelung gemäss Patentanspruch 1 gelöst.

[0007] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Zeichnungen von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die technischen Details der Verbrennungsmaschine und der gasdynamischen Druckwellenmaschine sind ausführlich in den WO 99 /11913 und WO/11915 des gleichen Anmelders beschrieben und es wird ausdrücklich darauf Bezug genommen. Insbesondere werden auf die Merkmale mit der Verdrehung des Gehäuses, insbesondere Luftgehäuses, der gasdynamischen Druckwellenmaschine zwecks Abstimmung der beiden Hochdruck-Abgaskanäle, auf die Verbindungsleitung zwischen dem Hochdruck-Ladeluftkanal und dem Hochdruck-Abgaskanal und auf die variable Verbreiterung des Hochdruck-Abgaskanals oder den variablen Gastaschenuzufluss Bezug genommen.

20 Figur 1 zeigt schematisch und teilweise im Schnitt ein Ausführungsbeispiel einer gasdynamischen Druckwellenmaschine,

25 Figur 2 zeigt in perspektivischer Sicht die gasdynamische Druckwellenmaschine gemäss Figur 1, und die

30 Figuren 3, 3A zeigen schematisch ein Detail eines abgewinkelten zylindrischen Schnittes durch die Zellen eines Rotors einer Druckwellenmaschine mit variabler Verbreiterung des Hochdruck-Abgaskanals.

35 **[0008]** In den Figuren 1 und 2 ist eine gasdynamische Druckwellenmaschine dargestellt, an der eine Vielzahl von Verbesserungen durchgeführt worden sind, um insgesamt den Wirkungsgrad wesentlich zu erhöhen. Die Druckwellenmaschine 30 ist über den Hochdruck-Abgaskanal 31 und den Hochdruck-Ladeluftkanal 32 mit der schematisch dargestellten Verbrennungsmaschine 33 verbunden. Im Gasgehäuse 34 befindet sich ferner der Niederdruck-Abgaskanal 35, und es ist aus dieser Figur ersichtlich, dass die beiden Kanäle, d. h. der Hochdruck-Abgaskanal und der Niederdruck-Abgaskanal, im Gasgehäuse rotorseitig als sektorförmige Öffnungen 36A und 37A mit je einer Öffnungskante 36 bzw. 37 münden, siehe auch die Figuren 5 und 6. Man erkennt ferner den Rotor 40 mit seinen Zellen 41, wobei der Rotor in einem Mantel 42 angeordnet ist und beispielsweise durch einen Riemenantrieb 43 angetrieben wird.

55 **[0009]** Es wird zunächst angestrebt, die Ausrichtung der Öffnungskanten des Hochdruck-Abgaskanals bezüglich der Öffnungskanten des Hochdruck-Ladeluftkanals derart abzustimmen, dass die sogenannte Primärwelle, die beim Öffnen des Hochdruck-Abgaskanals zur unter tieferem Druck stehenden Rotorzelle entsteht,

genau abgestimmt ist, derart, dass sie beim Öffnen des Hochdruck-Ladeluftkanals zur Rotorzelle auf der Luftseite eintritt. Es wurde früher versucht, diese Optimierung damit zu erreichen, dass an den Gehäusen verdrehbare Scheiben mit Öffnungen angebracht wurden, um die beiden Hochdruckströme zu beeinflussen.

[0010] Bei der vorliegenden Ausführung werden die Öffnungskanten des Hochdruck-Ladeluftkanals 32, d. h. die in die Rotorzellen mündenden Öffnungen, verstellt, indem entweder das Luftgehäuse bezüglich dem ortsfesten Rotor und Gasgehäuse oder nur der Hochdruck-Ladeluftkanal verdreht wird. Daraus resultiert, dass die Öffnungskanten der beiden Hochdruck-Kanäle bei jedem Kennfeldpunkt des Verbrennungsmotors immer so zueinander verstellt werden können, dass die Primärwelle die oben genannte Bedingung erfüllen kann. Die Verdrehung des Gehäuses kann zum Beispiel 0 - 25° betragen.

[0011] Durch eine direkte Frischluftzuführung in den Abgaskanal kann eine grosse Leistungssteigerung erzielt werden. Man erkennt in den Figuren 1 und 2 die Verbindungsleitung 46, die vom Hochdruck-Ladeluftkanal in den Hochdruck-Abgaskanal führt. Dadurch werden die positiven Druckstösse im Hochdruck-Ladeluftkanal auf den Hochdruck-Abgaskanal übertragen. Die Verbindungsleitung enthält ein Rückschlagventil 47, das gegebenenfalls mit einer elektronischen Regelung versehen ist. Dabei wirkt das Rückschlagventil als Regelung in dem Sinne, dass nur Druckstösse übertragen werden, deren energetisches Niveau höher liegt als der momentane Druck im Hochdruck-Abgaskanal. Damit werden vor allem die negativen Druckpulse, d. h. der Zustand des Quasi-Unterdruckes im Hochdruck-Abgaskanal angehoben, und das gesamte Druckniveau wird sowohl innerhalb des Hochdruck-Abgaskanals als auch des Hochdruck-Ladeluftkanals durch die Glättung der negativen Druckpulse angehoben. Dadurch kann das Druckniveau im Rotor vor dem Öffnen des Hochdruck-Abgaskanals deutlich angehoben werden, und die von dort eintreffenden Pulsationen werden gedämpft. Ausserdem verringert diese Massnahme die Einstromverluste des heissen Abgases in den Rotor, da der ganze Prozess gedämpft wird.

[0012] Eine weitere Verbesserung kann erzielt werden, falls die Abzweigung, die in Figur 1 oder 2 irgendwo zwischen der Hochdruck-Ladeluftkanal-Kante und dem Motoreinlass angeordnet ist, direkt nach der Öffnungskante des Hochdruck-Ladeluftkanals angeordnet wird. Diese bevorzugte Variante ist der Übersichtlichkeit halber in Figur 1 nicht eingezeichnet.

[0013] Wie bereits erwähnt wurde, ist die Druckwellenmaschine nach Stand der Technik stark füllungsabhängig. Zusätzlich zur Reduzierung der Druckpulsationen, wie oben beschrieben, erlaubt das Vorsehen einer Verbindungsleitung die Rückführung von Ladeluft auf die Hochdruck-Abgasseite der Druckwellenmaschine, dadurch eine Erhöhung des Massendurchsatzes der Maschine und somit eine Erhöhung des Füllgrades, was

sich in einer deutlichen Drucksteigerung bemerkbar macht. Eine zusätzliche Regelung der rückgeführten Frischluft-Hochdruckmenge mittels einem geregelten Rückschlagventil kann somit zur Ladedruckregelung im allgemeinen und beim Otto-Motor zusätzlich zur Leistungsregelung verwendet werden. Das heisst mit anderen Worten, dass die Druckwellenmaschine zur Verbesserung des Kompressionswirkungsgrades bei höheren Motordurchsätzen etwas grösser dimensioniert werden kann, ohne bei tieferen Motordurchsätzen an Ladedruck zu verlieren.

[0014] Dies kann beispielsweise auch dadurch geschehen, dass der Querschnitt des Verbindungskanals mittels einer geeigneten, bekannten Vorrichtung geregelt wird, wobei entweder das geregelte Rückschlagventil oder eine zusätzliche Querschnittsregelung eingesetzt werden kann. Dies ist besonders wirksam im unteren bis mittleren Drehzahl-, Temperatur- und Lastbereich des Verbrennungsmotors. Das heisst, das System zur Leistungserhöhung mittels Verbindungsleitung ist ein Hilfsmittel, um bei eventuell zu tiefem erreichbaren Ladedruck bei tiefen Motordrehzahlen, von 1'000 - 3'000 RPM, eine starke Anhebung des Ladedrucks durch Ausnutzung der Abgaspulsationen und der positiven Druckdifferenz über die Druckwellenmaschine zu erreichen.

[0015] Die Verwendung einer Verbindungsleitung zwischen dem Frischluft- und Abgasteil bewirkt eine erhebliche Wirkungsgradsteigerung bei sonst vorbekannten Druckwellenmaschinen, ist aber besonders wirksam in Verbindung mit den vorgenannten und beschriebenen Massnahmen zur Verbesserung des Wirkungsgrades. Diese Leistungserhöhung sollte über die Motorsteuerung mit einem Stellglied mit einer Offen-Zu-Funktion bewirkt werden können.

[0016] Die Figuren 3 und 3A beziehen sich auf einen anderen Aspekt der Druckwellenmaschine, auf die Beeinflussung des Hochdruck-Abgasstromes. In den Figuren 3, 3A ist eine Beeinflussung des Hochdruck-Abgaskanals, bzw. seine Verbreiterung, schematisch dargestellt. Darin ist der abgewinkelte Rotor 40 mit den Zellen 41 dargestellt und eine Aussparung 48 im Gasgehäuse 34 vorgesehen, die durch einen Schieber 49 verändert werden kann, wie dies durch den Pfeil 50 angedeutet ist. In Figur 3A ist der Schieber 49 ganz in Pfeilrichtung eingerückt, so dass der Hochdruck-Abgaskanal verbreitert ist, ohne dass ein Steg entstanden ist. Durch eine geeignete und für einen Fachmann berechenbare Steuerung kann der Schieber derart verschoben werden, dass der Hochdruck-Kanal so verbreitert wird, bis der Druck darin so weit abgesunken ist, dass der durch den Druckwellenprozess erzeugte Ladedruck auf das gewünschte Niveau absinkt.

[0017] Analog dazu, falls nicht die Verbreiterung des Hochdruck-Abgaskanals gewählt wird, kann in an sich bekannter Weise, wenn auch weniger wirkungsvoll, da ein Steg verbleibt, der Gastaschenufluss variiert werden.

[0018] Wie in der Einleitung erwähnt, sind eine Anzahl Fehlerquellen bekannt, die den Betrieb der Verbrennungsmaschine stören oder die gasdynamische Druckwellenmaschine beschädigen können. Aus diesem Grund ist eine bestimmte Reihenfolge bei der Regelung eines Druckwellenladers in jeden Kennfeldbereich der Verbrennungsmaschine sinnvoll.

[0019] Das heisst, für jeden Kennfeldpunkt könnte eine Positionierung sowie eine Reihenfolge der Betätigung der vorhandenen Stellglieder beschrieben werden. Da dies jedoch eine endlose Reihe ergibt, werden insgesamt zwei Einstellmöglichkeiten ausgewählt: Bei Leistungserhöhung der Verbrennungsmaschine, einfach ausgedrückt beim Gasgeben, und beim Wegnehmen des Gases oder Bremsen.

[0020] Im Nachfolgenden wird ein Beispiel einer Regelung bei einem positiven Lastsprung, d.h. beim Gasgeben, angegeben, wobei die Drosselklappe des Verbrennungsmotors oder die Regelstange beim Dieselmotor abhängig vom Fahrerwunsch nach mehr Leistung über einen Kabelzug oder ein E-Gas geöffnet, bzw. die Regelstange verschoben wird.

1. Die Spülluftklappe 59, siehe Figur 1, im Ansaugkanal vor der Druckwellenmaschine muss beim Beginn des Lastsprungs mit geeigneten Mitteln, beispielsweise E-Steller oder Kabelzug, sofort so weit wie möglich geöffnet werden, damit der erhöhte Luftdurchsatz durch die Druckwellenmaschine gewährleistet werden kann.

2. Die Drehzahl und die Verdrehung des Gehäuses, insbesondere des Luftgehäuses 39, der Druckwellenmaschine müssen mit geeigneten Mitteln auf die im Kennfeld abgespeicherte optimale Position relativ zum Kennfeldpunkt der Verbrennungsmaschine bewegt werden.

3. Der Schieber der variablen Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals oder des variablen Gastaschenzuflusses muss auf die im Kennfeld abgespeicherte Position gestellt werden bzw. auf den aus dem Motorkennfeld benötigten Ladedruck eingeregelt werden.

4. Das Ventil der Verbindungsleitung 46 zwischen dem Hochdruck-Ladeluftkanal und dem Hochdruck-Abgaskanal kann bei nicht Erreichen des gewünschten Ladedruckes zusätzlich geöffnet werden, vorteilhafterweise nur zwischen $N_{mot} = 1'000 - 3'000$ U/Min.

5. Die variable Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals oder der variable Gastaschenzufluss wird daraufhin die Funktion der Druckregelung gemäss Fahrerwunsch übernehmen.

[0021] Dabei ist zu beachten, dass das Rückschlag-

ventil der Verbindungsleitung erst geöffnet werden darf, wenn alle anderen Parameter und Stellglieder nach dem positiven Lastsprung, wegen der Anforderung eines möglichst hohen Ladedrucks, bereits in der optimalen Position sind. Dieses ist erforderlich, da mit dem Leistungserhöhungssystem der Hochdruckprozess auf Kosten des Spülprozesses verstärkt wird.

[0022] Bei der Regelung der Druckwellenmaschine bei einem negativen Lastsprung, d.h. beim Gaswegnehmen, mit anschliessendem Teillastverhalten, sollte folgende Reihenfolge beachtet werden:

1. Bei negativem Lastsprung mit einer Anforderung eines tieferen Ladedrucks muss die Verbindungsleitung sofort und als erstes wieder geschlossen werden. Das Ventil der Verbindungsleitung muss garantiert geschlossen sein.

2. Bei der Verdrehung des Gehäuses und Einstellen der Drehzahl der Druckwellenmaschine sollten diese Werte eine optimale Position aus den im Motorversuch aufgenommenen und im Kennfeld abgespeicherten Werten aufweisen.

3. Die Spülluftklappe 59 der Druckwellenmaschine sollte möglichst weit geschlossen werden, jedoch nur soweit, dass die Rotorspülung nicht zusammenbricht. Dies erfordert Sensoren bei der A-Sonde und Messung der Abgastemperatur nach der Druckwellenmaschine.

4. Der Schieber der variablen Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals oder des variablen Gastaschenzuflusses sollte möglichst weit geöffnet sein, so dass die Druckdifferenz zwischen Hochdruckladeluft und Hochdruckabgas möglichst gering ist.

[0023] Versuche haben ergeben, dass das Einhalten der oben beschriebenen Reihenfolge bei der Regelung der Druckwellenmaschine eine optimale Leistung bei niedrigem Verbrauch erzielt werden kann.

[0024] Wie bereits erwähnt, könnte für jeden Kennfeldpunkt eine Positionierung sowie eine Reihenfolge der Betätigung der vorhandenen Stellglieder beschrieben werden. Da dies jedoch endlos ist, ist es zweckmässig, vom Grundsatz der optimalen Positionierung nach Kennfeld und der Nachregelung mit z.B. PID-Reglern auszugehen.

[0025] Die Gehäuseverdrehung, die Drehzahl und die Stellung des Schiebers der Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals oder des variablen Gastaschenzuflusses können je nach Anforderung variieren und in unterschiedlichen Einstellungen ähnliche Ergebnisse bringen. Gute Ergebnisse können dadurch erzielt werden, dass bei der Einstellung der Druckwellenmaschine die Leistung der Verbrennungsmaschine bzw. ihr Drehmoment optimiert wird.

[0026] Wie in der Einleitung vermerkt, wird in dieser

Anmeldung insbesondere auf die Regelung der Schritte bei einem positiven und einem negativen Lastsprung beschrieben, doch ist es selbstverständlich, auch die übrigen drei erwähnten Phasen bei konstantem Fahren zu optimieren, indem auch dort eine bestimmte Reihenfolge der Regelung vorgenommen wird. Diese Regelung auch der übrigen drei Teilphasen wird dann mit den übrigen Regelungsschritten mit vorgeschriebener Reihenfolge kombiniert.

[0027] Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht auf das beschriebene System Verbrennungsmaschine-Druckwellenmaschine beschränkt. In seiner Grundform hat das Verfahren für alle Systeme Verbrennungsmaschine-Druckwellenmaschine Gültigkeit. Seine volle Wirksamkeit entfaltet es mit allen Optionen. Auch gilt dieses Verfahren sowohl für Otto- als auch für Dieselmotoren, mit und ohne Katalysatoren und mit oder ohne Zusatzheizungen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Verbrennungsmaschine mit einer gasdynamischen Druckwellenmaschine, wobei die gasdynamische Druckwellenmaschine ein drehbares Gehäuse, um die Prozessabstimmung über den ganzen Kennfeldbereich der Verbrennungsmaschine abzustimmen, und eine variable Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals oder einen variablen Gastaschenzufluss aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jedem Kennfeldbereich eine bestimmte Reihenfolge der Regelung eingehalten wird, wobei bei einem positiven Lastsprung

die Drehzahl und das Gehäuse der gasdynamischen Druckwellenmaschine mit geeigneten Mitteln auf die im Kennfeld abgespeicherte optimale Position eingestellt werden,

die variable Breiterestellung des Hochdruck-Abgaskanals oder der variable Gastaschenzufluss auf den aus dem Motorkennfeld benötigten Ladedruck eingeregelt wird; und bei negativem Lastsprung

die Drehzahl und das Gehäuse der gasdynamischen Druckwellenmaschine mit geeigneten Mitteln auf die im Motorkennfeld abgespeicherte optimale Position eingestellt werden und

die variable Breitenverstellung des Hochdruck-Abgaskanals oder der variable Gastaschenzufluss möglichst weit geöffnet wird, um die Druckdifferenz von Hochdruckladeluft zu Hochdruckabgas möglichst gering zu halten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Beginn des positiven Lastsprungs, wobei das Regelteil der Verbrennungsmaschine abhängig vom Fahrerwunsch nach mehr Leistung verschoben wird, als Erstes eine Spülluft-

klappe im Ansaugkanal der gasdynamische Druckwellenmaschine so weit als möglich geöffnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem positiven Lastsprung und Nicht-Erreichen des gewünschten Ladedrucks zusätzlich eine Verbindungsleitung zwischen dem Hochdruck-Ladeluftkanal und dem Hochdruck-Abgaskanal geöffnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnung in einem Bereich von $N_{\text{mot}} = 1000 - 3000 \text{ U/Min}$ erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnung der Verbindungsleitung erst erfolgt, wenn alle anderen Parameter und Stellglieder nach dem positiven Lastsprung bereits in der optimalen Stellung sind.

6. Verfahren nach Anspruch 1 bei negativem Lastsprung, **dadurch gekennzeichnet, dass** gewährleistet ist, dass eine zwischen dem Hochdruck-Ladeluftkanal und dem Hochdruck-Abgaskanal bestehende Verbindungsleitung mit Sicherheit geschlossen ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Ventil in der Verbindungsleitung über die Steuerung der Verbrennungsmaschine mit einem Stellglied betätigt wird.

8. Verfahren nach Ansprüchen 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Beginn des negativen Lastsprungs die Spülluftklappe möglichst weit geschlossen wird, ohne dass jedoch die Rotorspülung zusammenbricht.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das drehbare Gehäuse der gasdynamischen Druckwellenmaschine das Luftgehäuse ist.

FIG. 1

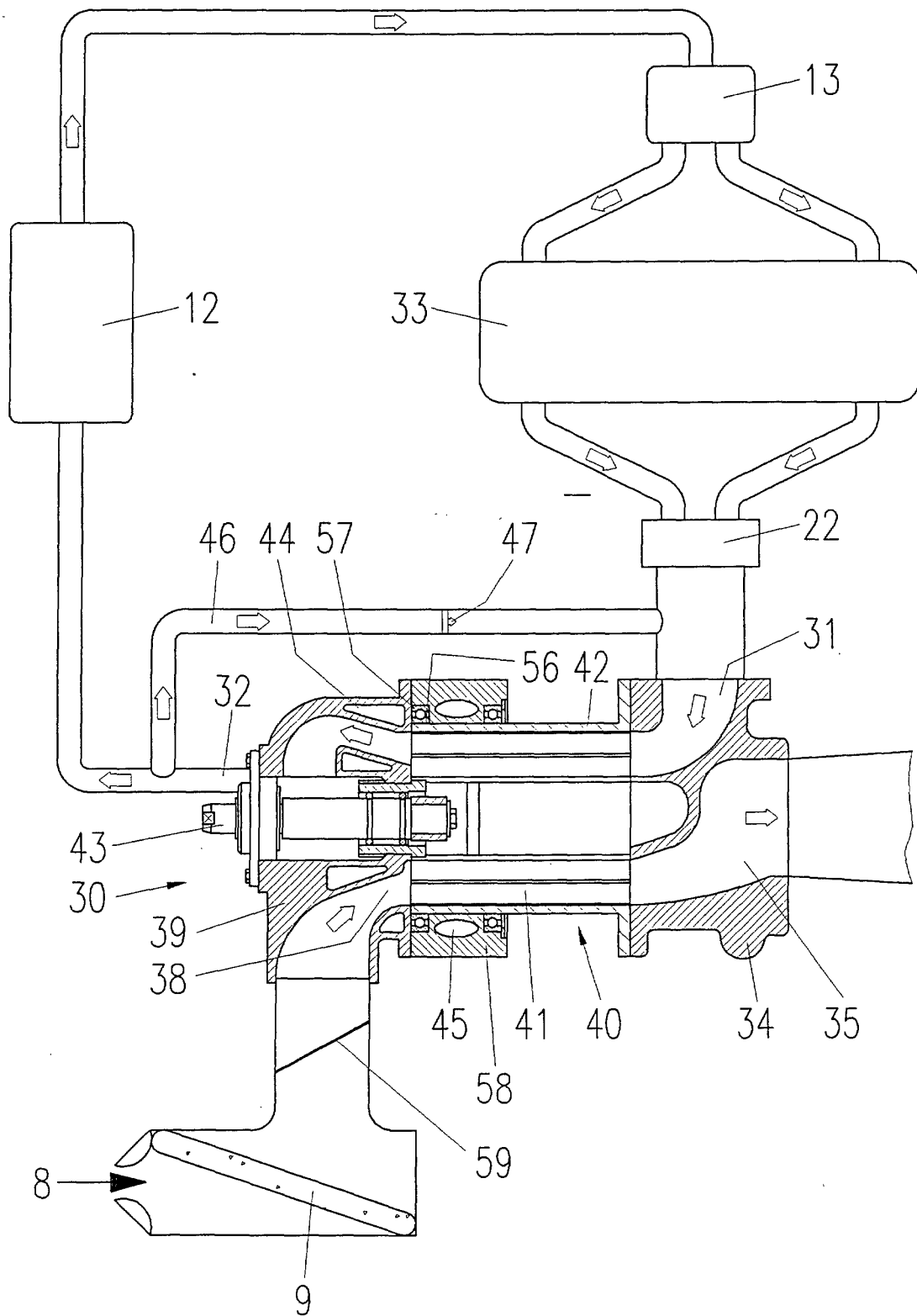


FIG. 2

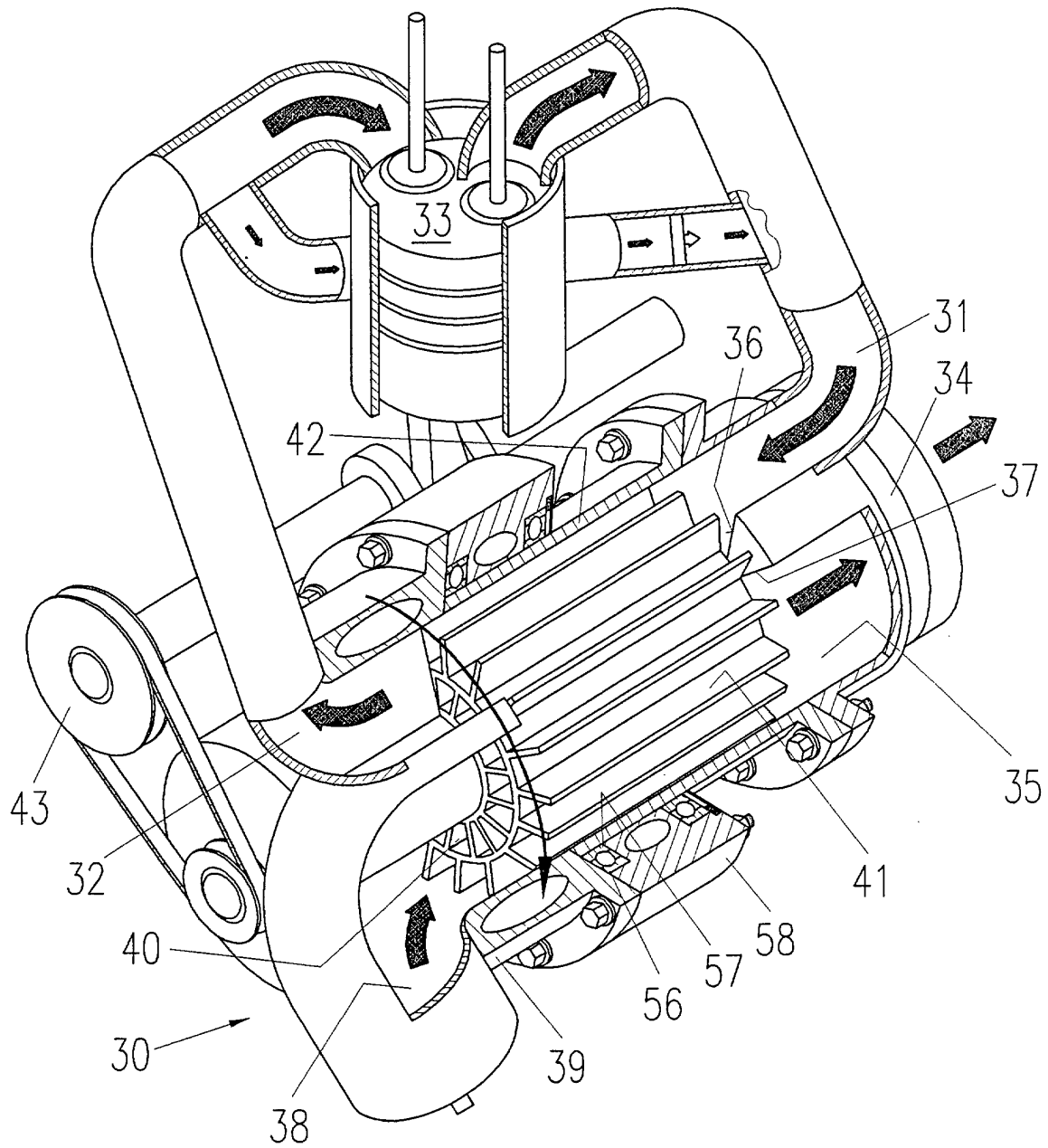


FIG. 3

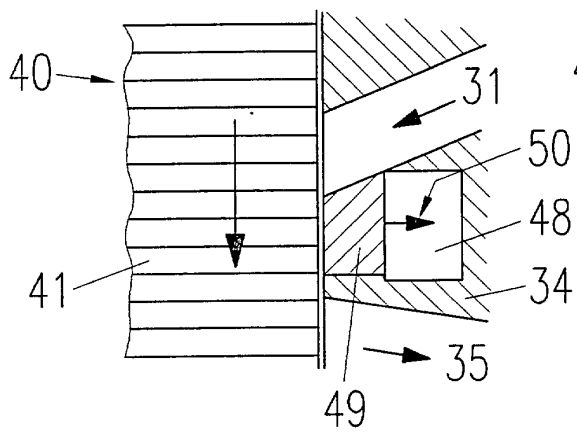


FIG. 3A

