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

(11) **EP 1 553 286 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
31.10.2007 Patentblatt 2007/44

(51) Int Cl.:
F02M 61/16 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **04106517.8**

(22) Anmeldetag: **13.12.2004**

(54) **Dosierventil mit Längenkompensationseinheit**

Dosing valve with a length compensation unit

Soupape de dosage avec une unité de compensation de longueur

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **09.01.2004 DE 102004001505**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.07.2005 Patentblatt 2005/28

(73) Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Gottlieb, Bernhard**
  81739 München (DE)
- **Hennig, Oliver**
  81667 München (DE)
- **Kappel, Andreas**
  85649 Brunnthal (DE)
- **Schwebel, Tim**
  80337 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-02/38948
WO-A1-02/095214
WO-A1-20/04085831
DE-A1- 10 035 168
DE-A1- 19 905 340
US-A- 4 763 841

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).

EP 1 553 286 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Dosierventil mit Aktoreinheit, Ventileinheit, Fluidzuführung und Längenkompensationseinheit.

[0002] Mechanische Bauteiltoleranzen, temperaturbedingte und druckbedingte Längenänderungen, Alterungseffekte, insbesondere des Piezoelektrischen Multilayer Aktors (PMA), wirken sich unmittelbar auf den Öffnungshub eines Fluidventils aus und damit auf dessen Dosiermenge. Insbesondere der PMA wirft hinsichtlich der thermischen Längenkompensation mit herkömmlichen Methoden, wie z. B. mit geeigneter Werkstoffkombination, praktisch nicht lösbare Probleme auf.

[0003] Die durch den inversen piezoelektrischen Effekt bei Hochleistungskeramiken erreichbare Elongation aufgrund des Anlegens einer maximal für den Dauerbetrieb zulässigen Feldstärke von ca. 2 KV/mm beträgt nur 1,2-1,4 Promille. Dies führt bei einer typischen Baulänge von ca. 40 mm und einem Schichtabstand von 80 µm bei 160 V angelegter Spannung zu einer Elongation von maximal ca. 56 µm. Liegt zwischen der Aktoreinheit und dem Gehäuse, in das die Aktoreinheit eingebaut ist, auch nur eine minimale relative Abweichung im effektiven thermischen Ausdehnungskoeffizienten von

$$\text{ca. } 1 \cdot 10^{-6}\ 1/K$$

über die Länge des PMA von 40 mm hinweg vor, so führt dies im automobiltechnisch relevanten Temperaturbereich von -40°C bis +140°C zu einer Abweichung der für den Ventiltrieb relevanten Referenzflächen von -2,4 µm bis zu +4,8 µm oder in Summe zu 7,2 µm und, bezogen auf die Elongation des PMA, zu einer Abweichungsbandbreite von bis zu 13%.

[0004] Probleme entstehen, weil es praktisch nicht möglich ist die komplexe Fertigung der PMA in derart engen Toleranzen zu gestalten, dass die thermische Dehnung des PMA insgesamt in einem hinreichend engen Toleranzfeld bleibt.

[0005] Als Bauteil mit Domänenstruktur und Hysterese hängt der thermische Längenausdehnungskoeffizient stark vom Polarisationszustand und der mechanischen und elektrischen Belastungsvorgeschichte des PMA ab, sowie von der Temperatur selbst in nichtlinearer Abhängigkeit und kann bei ein und demselben PMA Werte im Bereich von $-5 \cdot 10^{-6}$ l/K bis zu $+7 \cdot 10^{-6}$ l/K annehmen.

[0006] Als wirksame Maßnahme zur Kompensation von Bauteiltoleranzen und Längenänderungen sind im Stand der Technik hydraulische Elemente in Form von hydraulischen Lagern bekannt, wie z.B. in der Patentschrift DE-C-199 40 055 beschrieben. Varianten davon weisen zusätzlich einen hydraulischen Übersetzer auf, wie es z.B. in der Patentanmeldung DE-A-100 39 424 gezeigt wird.

[0007] Das hydraulische Kompensationselement besteht aus einer ölbefüllten Hydraulikkammer, die einerseits durch ein Zylindergehäuse und andererseits durch einen in Form einer engen Spielpassung eingepassten Hydraulikkolben begrenzt ist. Über die enge Spielpassung und/oder eine Drosselbohrung steht die Hydraulikkammer mit einem Speichervolumen in Verbindung. Das Speichervolumen dient einerseits als Ausgleichsbehälter, in das oder von dem Öl überströmt, wenn sich die Höhe der Hydraulikkammer ändert und andererseits als Kompensator für die thermische Volumenänderung des Ölvolumen selbst. Der Speicherraum muss einen vorher einstellbaren Grunddruck über den Kompensationsweg und den vollen Temperaturbereich möglichst konstant halten. Das gesamte Ölvolumen muss hermetisch dicht eingeschlossen sein und darf keine Gasblasen enthalten.

[0008] Der Kompensationsweg bei einem hydraulischen Kompensationselement wird unter anderem von der Höhe der Hydraulikkammer in axialer Richtung beschränkt und beträgt bei typischen Anwendungen max. $\pm$ 200 µm. Die mechanische Steifigkeit c der Hydraulikkammer ist proportional zur Querschnittsfläche A der Hydraulikkammer und umgekehrt proportional zur Kammerhöhe h und zur Kompressibilität k des Fluids (nach der Beziehung $c = A / (k \cdot h)$). Mit zunehmender Kammerhöhe h sinkt die mechanische Steifigkeit c der Hydraulikkammer so stark ab, dass die dynamischen Eigenschaften des Piezoantriebes inakzeptabel stark beeinträchtigt werden. Ein genaues Einjustieren eines HK ist daher unabdingbar.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Längenkompensationseinheit mit im Vergleich zum Stand der Technik erhöhtem Kompensationsweg und wesentlich vereinfachtem Aufbau bereitzustellen.

[0010] Lösungen ergeben sich aus der jeweiligen Merkmalskombination von Anspruch 1.
Vorteilhafte Ausgestaltungen können den Unteransprüchen entnommen werden.

[0011] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass ein friktionsbasiertes Kompensationselement (FK) zur Integration maximaler Funktionalität bei gegebenen Bauraumbedingungen als Längenausgleichselement einsetzbar ist. Die besondere Konstruktion gewährleistet die Möglichkeit des separaten Aufbaus, Tests und den entsprechenden Einbau.

[0012] Das erfindungsgemäße Friktionsbasierte Kompensationselement (FK) ist den bekannten Konzepten Hydraulischer Kompensatoren (HK) in folgenden Eigenschaften überlegen:
Der Bauraum, insbesondere die Länge eines Aktors, wird bei Anwendung eines FK gegenüber Aktor mit HK deutlich reduziert, da sich das HK in der Länge immer an den Aktor anschließen muss, während beim FK nur ein zusätzliches Rohr geringer Wandstärke nötig ist, das die Aktoreinheit umfasst. Daher entsteht lediglich ein geringer zusätzlicher Platzbedarf im Durchmesser.

[0013] Der Aufbau eines FK ist wesentlich einfacher als der eines HK. Beim FK ist nur eine enge Zylinderpas-

sung erforderlich. Auf eine Druckbeaufschlagung des Ölvolumens wie im HK kann verzichtet werden. Das ölgefüllte Volumen beim FK muss nicht gasblasenfrei sein. Ein Lufteinschluss dient gerade dazu, die thermische Volumenausdehnung der Ölfüllung abzufangen. Der Kompensationsweg bei einem FK ist nahezu unbeschränkt. Daher entsteht praktisch kein Aufwand für die Einstellung eines FKs.

[0014] Die sichere Rückstellung des Dosierventils in den geschlossenen Zustand bzw. in den Ruhezustand mittels einer Rückstellfeder geschieht durch eine entsprechende Kraft, die in die Ventileinheit eingeleitet wird. Die Einleitung kann direkt auf die Ventileinheit oder sehr vorteilhaft über das FK auf die Ventileinheit geschehen. So kann die Schließkraft mechanisch oder hydraulisch (durch das FK) aufgebracht werden, wobei sich beide Anteile zur Schließkraft summieren. Der mechanische Anteil, der durch die Rückstellfeder aufgebracht wird, dient zum sicheren Verschluss des Ventils im drucklosen Zustand des Injektors. Ein Auslaufen von Fluid aus dem Injektors kann somit auch beim abgestellten Motor zuverlässig verhindert werden.

[0015] Durch den Einsatz von konzentrisch geführten Rohren im FK kann durch deren offene Stirnseiten ein elektrischer Anschluss nach außen geführt werden.

[0016] Die Ausbildung einer Mantelstromkühlung ist zur gleichmäßigen Ausbildung des Kühlstroms und zur vollständigen Kühlung der Aktoreinheit besonders vorteilhaft.

[0017] Zur Abführung der Verlustwärme aus dem Aktorantrieb wird insbesondere ein inertes Fluid, welches nicht korrosiv wirkt, eingesetzt. Dieses umschließt den Aktor und bindet diesen wärmetechnisch nach außen an.

[0018] Ein Metallbalg dient zur Trennung zwischen dem unter erhöhtem Fluiddruck stehenden Bereich der Ventileinheit von dem mit niedrigerem Druck beaufschlagten Bereich der Aktoreinheit und als Durchführungselement für die Ventilnadel von der Aktoreinheit zur Ventileinheit. Weiterhin wird zum Schutz des Metallbalges vor Druckwellen eine zwischen Metallbalg und mit Fluiddruck beaufschlagtem Bereich der Ventileinheit positionierte Spielpassung ausgebildet.

[0019] Bei einem identischen Dosierventil mit Längenkompensationseinheit kann ein Fluid mit dilatanten Eigenschaften zwischengeschaltet sein. Die Vorteile liegen in diesem Fall in der Erhöhung des Kompensationsweges, der im Wesentlichen auf der mechanischen Konstruktionsweise begründet ist. Der Einsatz eines dilatanten Fluids ist mit weiteren besonderen Vorteilen verbunden. Damit ist die gewünschte Funktionsweise des friktions-basierten Kompensationselementes optimal eingestellt. Die dazu notwendige Herstellungsgenauigkeit für die beteiligten Bauelemente bzw. für die Befüllung mit dem Gleitmittel stellen jedoch hohe Anforderungen an die Fertigung eines solchen Lagers. Die Ausführung eines friktions-basierten Lagers ist durch geringe Spaltmaße und durch langwierige Befüllung mit einem Gleitmittel gekennzeichnet und sehr aufwändig.

[0020] Eine spezielle Lösung der gestellten Aufgabe beinhaltet die Verwendung eines dilatanten Fluids zwischen den entsprechend zusammenwirkenden Bauelementen des friktions-basierten Kompensationselementes. Bei einer dilatanten Flüssigkeit bewirkt ein Anstieg der Scherrate ein Ansteigen der Viskosität bis hin zu festkörperähnlichen Eigenschaften. Die Vorteile der Verwendung eines solchen Fluids sind folgende:
Die Befüllung des Systems ist unproblematisch, da die Fluide ohne aufgebrachte Scherspannungen niedrig viskos sind, das Spaltmaß der beteiligten Bauelemente kann größer gewählt werden, da die Viskosität unter hohen Scherraten deutlich zunimmt und größer werden kann als die der bisher eingesetzten Öle, die in der Regel bis zu Werten von $\eta = 2000 Ns/m^2$ beträgt. Ferner ist anzumerken, dass das Verhalten einer dilatanten Substanz den Anforderungen des FKs dahingehend entspricht, dass langsam ablaufende Vorgänge wie die Kompensation von Längenänderungen oder Bauteiltoleranzen bei geringer Scherrate stattfinden. Somit werden nur sehr geringe Kräfte im Lager übertragen und eine Längskompensation ist möglich. Bei schnellen Änderungen in Längsrichtung wie bei dem Antrieb eines piezoelektrischen Motors oder einem Fluidventil, entstehen hohe Scherraten. Die entsprechenden Kräfte werden durch das Lager in diesem Fall aufgrund der erhöhten Viskosität übertragen.

[0021] Im Folgenden werden detaillierte Beschreibungen von besonders vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung unter Bezug auf die begleitenden Figuren wiedergegeben:

Figur 1 zeigt einen Längsschnitt durch ein Dosierventil mit Ventileinheit, Aktoreinheit, Längenkompensationseinheit und Rückstellfeder,

Figur 2 zeigt ein Dosierventil entsprechend Figur 1, wobei die Rückstellfeder direkt am friktionsbasierten Kompensationselement angreift.

[0022] Das im Folgenden detailliert beschriebene friktionsbasierte Kompensationselement (FK) stellt eine Weiterentwicklung und Optimierung des genannten Standes der Technik hinsichtlich der Integration maximaler Funktionalität bei gegebenen Bauraumbedingungen dar, wie vorgeschriebene Bauhöhe, Außendurchmesser und einfacher Aufbau als modulare Einheit. Dieses kann separat aufgebaut, getestet und verbaut werden.

[0023] Das erfindungsgemäße FK ist den bekannten Konzepten Hydraulischer Kompensatoren (HK) in folgenden Eigenschaften überlegen:
Der Bauraum, insbesondere die Länge des Piezoantriebes, wird bei Anwendung eines FK gegenüber einem Piezoantrieb mit HK deutlich reduziert, da das HK in der Länge immer an den Piezoantrieb anschließen muss, während beim FK nur ein zusätzliches Rohr geringer Wandstärke, das die Aktoreinheit umfasst, erforderlich

ist. Daher entsteht lediglich ein geringer zusätzlicher Platzbedarf im Durchmesser.

[0024] Der Aufbau eines FK ist wesentlich einfacher als der eines HK.

[0025] Hingegen ist beim FK nur eine enge Zylinderpassung erforderlich. Auf eine Druckbeaufschlagung des Ölvolumens kann verzichtet werden. Das mit einem hochviskosen Öl gefüllte Volumen muss nicht gasblasenfrei befüllt sein. Ein Lufteinschluss dient gerade dazu, die thermische Volumenausdehnung der Ölfüllung abzufangen.

[0026] Der Kompensationsweg bei einem FK ist hingegen nahezu unbeschränkt. Daher entsteht praktisch kein Aufwand für dessen Einstellung.

[0027] Der Aufbau und die Funktion des erfindungsgemäßen FK in einem Piezoelektrischen Benzin (Gasoline) Direkt Injektor, PGDI, wird anhand von **Fig.1** erläutert.

[0028] Der Aufbau eines Dosierventils umfasst ein Gehäuse mit folgenden funktionalen Bestandteilen:

1) Ventileinheit
2) Aktoreinheit
3) Längenkompensationseinheit
4) Fluidzufuhr/Kraftstoffzufuhr

1. Ventileinheit:

[0029] Die Ventileinheit besteht aus einer Ventilnadel 1, deren unteres Ende entsprechend der Ausrichtung in den Figuren in Form eines Ventiltellers 2 ausgebildet ist und aus einer Cartridge/Hülse 3, in deren unteres Ende ein Ventilsitz 4 eingeschliffen ist, der zusammen mit dem Ventilteller 2 ein Kegelstrahlventil bildet, wobei der Strahlkegelwinkel des austretenden Kraftstoffes durch die geometrische Ausgestaltung des Ventiltellers 2 und des Ventilsitzes 4 festgelegt werden. Die Ventilnadel 1 wird in der Hülse 3 durch zwei sehr enge Spielpassungen 5,6 axial geführt. Der Querschnitt der Ventilnadel 1 im Bereich der unteren Passung 5 weist ein oder mehrere Abflachungen auf, damit der Kraftstoff im Raum zwischen Ventilnadel und Hülsen-Innenwand von der mindestens einen Eintrittsbohrung 7 während des Einspritzvorganges ungehindert zum geöffneten Kegelstrahlventil fließen kann. Oberhalb der oberen Passung 6 ist ein Metallbalg 8 an seinem unteren Ende hermetisch dichtend mit der Ventilnadel 1 und an seinem oberen Ende hermetisch dichtend mit dem Ventilkörper 9 vorzugsweise durch Verschweißen verbunden. Diese Art des Balganschlusses bewirkt, dass der unter hohem Druck stehende Kraftstoff von außen auf den Balg einwirkt. Der Einbau von Metallbälgen unter Außendruckbelastung wird von den Balgherstellern als die stabilere Variante empfohlen. Der Metallbalg 8 dient als hochdruckfestes hermetisch dichtendes, aber axial weiches Durchführungselement, das die erforderliche Bewegung der Ventilnadel 1 zum schnellen Öffnen und Schließen des Kegelstrahlventils nicht behindert. Der Metallbalg 8 besitzt einen effektiven hydraulischen Durchmesser d_1 der genau auf den Durchmesser der Dichtlinie d_2 im Kegelstrahlventil abgestimmt wird. Liegt der Kraftstoffdruck P an, so berechnet sich die vom Kraftstoffdruck P auf die Ventilnadel 1 ausgeübte Druckkraft zu $F_P = \pi/4 \cdot (d_1^2 - d_2^2) \cdot P$, wobei ein positives Vorzeichen eine Kraft nach oben also eine ventilschließende Kraft bedeutet. Je nach bevorzugter Auslegung der Kräftebilanz auf das Ventil kann durch Wahl von d_1 und d_2 eine öffnende, schließende oder verschwindende druckabhängige Kraft auf die Ventilnadel eingestellt werden.

[0030] Durch das schnelle Öffnen und Schließen des Kegelstrahlventils werden Druckschwankungen hoher Amplitude und Frequenz (Druckwellen) im Kraftstoff induziert, die einen Metallbalg stark schädigen und zu seinem verfrühten Ausfall führen. Als experimentell erwiesene und wirksame Maßnahme ist der Metallbalg oberhalb der Passung 6 angeordnet, die in ihrem Querschnitt keine Abflachungen aufweist. Durch hinreichend enge Passungen können Druckwellen nicht propagieren, was den Metallbalg 8 vor den schädlichen Druckwellen schützt.

[0031] Durch eine weiche, druckvorgespannte Rückstellfeder 10, die sich am unteren Ende auf dem Ventilkörper 9 und am oberen Ende über einen Federteller 11 an der Ventilnadel 1 abstützt, wird eine wegunabhängige Schließkraft F_R in die Ventilnadel eingeleitet. Die Schließkraft F_S im Kegelstrahlventil zwischen Ventilteller 2 und Ventilsitz 4 setzt sich im Betrieb additiv aus dem druckabhängigen Anteil F_P und der Kraft der Rückstellfeder F_R zusammen gemäß $F_S = F_P + F_R$.

[0032] Der Ventilkörper 9 ist mit der Hülse 3 hermetisch dichtend und druckstabil vorzugsweise durch Schweißen verbunden.

[0033] Die Ventileinheit ist bis zu dem bis jetzt beschriebenen Zustand als separate Einheit montierbar und mit Hilfe geeigneter Vorrichtungen in ihrer Funktion prüfbar, wie z.B. auf Dichtheit der Schweißnähte, Dichtheit des Kegelstrahlventils, Ausbildung und Eigenschaften des Kegelstrahles, was Kosten spart, da mangelhafte Ventilgruppen sofort ausgesondert werden können und Fehler nicht erst an einem vollständigen Injektor nachgewiesen werden, wodurch der gesamte Injektor verworfen werden müsste.

2. Aktoreinheit:

[0034] Die Aktoreinheit besteht aus dem Piezoelektrischen Multilayer Aktor, PMA 12, der unter Druckvorspannung zwischen einer Bodenplatte 13 und einer Kopfplatte 14 in eine Rohrfeder 15 eingeschweißt ist. Die Druckvorspannung schützt den PMA im hochdynamischen Betrieb vor schädlichen Zugspannungen. Die Piezokeramik verhält sich stabil gegenüber Druckspannungen, Zugspannungen hingegen können zur Zerstörung der Piezokeramik führen. Zudem wird durch das Anlegen einer starken Druckvorspannung, typischerweise von ca. 500 N - 1000 N, der Effekt der Spaltfederung zwischen den

Stirnflächen des PMA und den entsprechenden Gegenflächen der Kopfplatte 14- und Bodenplatte 13 vermieden, der zu einer weichen, mechanischen Ankopplung der Kopfplatte 14 und Bodenplatte 13 führt und daher ursächlich für Verluste in der Auslenkung der Aktoreinheit sein kann. Ursache für das Auftreten von Spaltfederung sind geometrische Abweichungen von der idealen planparallelen Geometrie der PMA Stirnflächen. Die Stirnflächen sind typisch mit einer Toleranz in der Parallelität von ca. $\pm$ 50μm gefertigt.

[0035] Durch den Polungsvorgang werden zunächst planare Stirnflächen ballig ausgebildet. Ohne oder bei nur geringer Druckvorspannung ist nur ein Bruchteil der PMA Stirnfläche auf Anlage mit der entsprechenden Gegenfläche auf der Kopf- oder Bodenplatte und bewirkt eine mechanisch weiche Kopplung. Eine hinreichend hohe Druckkraft bewirkt durch elastische Deformation das Schließen der Spalte und damit eine ganzflächige Anlage der Stirnflächen an den entsprechenden Gegenflächen und somit eine mechanisch steife Ankopplung.

[0036] Die Kopfplatte 14 enthält zudem Bohrungen 16, durch die die elektrischen Anschlüsse 17 des PMA zentral nach hinten aus der Aktoreinheit herausgeführt werden.

Die Aktoreinheit kann ebenfalls als separates Modul elektrisch und mechanisch geprüft werden, bevor es in einen Injektor eingebaut wird.

3. Längenkompensationseinheit:

[0037] Der Längenkompensator besteht in einer bevorzugten Ausführung für die Anwendung im beschriebenen Dosierventil aus zwei konzentrischen Rohren, dem Innenrohr 18 und dem Außenrohr 19, wobei der Außendurchmesser des Innenrohres 18 nur geringfügig kleiner ist als der Innendurchmesser des Außenrohres 19, so dass beide Rohre eine enge Spielpassung bilden. Eine typische Durchmesserdifferenz liegt bei ca. 5 μm - 20 μm.

[0038] Beim Einsatz eines dilatanten Fluide zwischen einem Innenrohr und einem Außenrohr einer friktionsbasierten Längenkompensationseinheit werden ebenfalls mechanische Kräfte für den Fall übertragen, dass hohe Relativgeschwindigkeiten vorliegen. Nachteilige Längenänderungen und Bauteiletoleranzen verschiedener Bauelemente können ausgeglichen werden, indem langsame Relativbewegungen nicht von der Einheit abgestützt, sondern ausgeglichen werden. Rheologisch gesehen fließen Fluide normalerweise beim Einwirken äußerer Kräfte, beispielsweise entsprechend der Newton'schen Scherkraftformel. Die Viskosität eines dilatanten Fluids ist abhängig von dem Betrag der Scherkräfte, die in dieses Fluid eingebracht werden. Mit zunehmender Scherrate steigt die Viskosität bis hin zu festkörperähnlichen Eigenschaften. Falls nun ein Hub eines piezoelektrischen Aktors, der nur wenige μm ausmacht, von einem friktions-basierten Kompensationselement abgestützt werden soll, müssen derartige Reaktionen innerhalb des Fluids ausreichend schnell ablaufen. Dies ist der Fall; da Viskositätsänderungen in dilatanten Fluiden im Millisekundenbereich vonstatten gehen. Anders ausgedrückt reagiert ein derartiges Fluid dilatant und nicht pseudoplastisch. Als Ergebnis liegt in diesem Fall ein steifes Lager zum Abstützen des Aktorhubes vor.

[0039] Typischerweise wird, wie in **Fig. 1** gezeigt, das Innenrohr 18 mit der Kopfplatte 14 der Aktoreinheit 32 steif verbunden, beispielsweise verschweißt. Das Außenrohr 19 wird an seinem unteren Ende mit der Ventilgruppe steif und hochdruckdicht verbunden. Die Bodenplatte 13 ist steif mit dem oberen Ende der Ventilnadel 1 verbunden. Der Innenraum innerhalb des Außenrohres 19 ist zur Gewährleistung der permanenten Ausfüllung des Passungsspaltes zwischen dem Innenrohr 18 und dem Außenrohr 19 weitestgehend mit dilatantem Fluid ausgefüllt. Des weiteren dient die Füllung gleichzeitig zur optimalen Verlustwärmeabfuhr vom PMA zum Außenrohr 19.

4. Die Kraftstoffzufuhr:

[0040] Die Kraftstoffversorgung besteht aus einem Einlassverbinder/Inletfitting 26 mit einer Zulauföffnung 20, in die der Kraftstoff von der Hochdruckpumpe kommend über eine Kraftstoffleitung eingespeist wird. Die Zulauföffnung mündet in eine Ringnut 21, durch die der Kraftstoff gleichmäßig über den Umfang verteilt wird. Zur Kraftstoffversorgung dient des weiteren ein Mantelrohr 22. Der zylindrische Ringspalt zwischen dem Außenrohr 19 und dem Mantelrohr 22 dient als Kraftstoffleitung vom Inletfitting 26 zur Ventilgruppe. Das Inletfitting (26) ist hochdruckfest und hermetisch dichtend mit dem oberen Ende des Außenrohres und dem Mantelrohr verbunden. Das untere Ende des Mantelrohres ist hochdruckfest und hermetisch dichtend mit der Hülse 3 verbunden.

Diese Art der konzentrischen Kraftstoffzufuhr ermöglicht eine optimale Verlustwärmeabfuhr vom PMA über das Innenrohr 18, das Silikonöl und das Außenrohr 19 zum Kraftstoff.

Die Elastizität des Außen- und Mantelrohres stellt einen effizienten, injektorinternen Druckspeicher dar, der die durch das schnelle Öffnen und Schließen des Kegelstrahlventils ausgelösten Druckwellen optimal dämpft.

[0041] Das Inletfitting 26 kann eine Vorrichtung zur mechanischen Injektorkalibrierung, bestehend aus einer Hohlschraube 23, und einer weichen Feder 24, die sich oben an der Hohlschraube und unten an der Aktoreinheit abstützt, enthalten. Durch das Eindrehen der Hohlschraube 23 wird über die Feder 24 der Ventilsitz gezielt geringfügig entlastet, wodurch der erreichbare Volumenstrom des Kegelstrahlventils geringfügig zunimmt. Eine mechanische Gleichstellung zwischen mehreren Injektoren ist somit erreichbar. Die Innenbohrung der Hohlschraube 23 dient zur Durchführung der elektrischen Anschlüsse 17. Mittels der Dichtung 25 aus Silikon oder ähnlichem ist die Bohrung der Hohlschraube 23 verschlossen, damit die Silikonölfüllung sicher im Injektorin-

nenraum eingeschlossen bleibt.

Funktion des friktionsbasierten Kompensationselementes FK im Injektor bzw. Dosierventil

[0042] Grundsätzlich können keine statischen Kräfte durch ein derartiges FK zwischen den beiden Rohren, dem Innenrohr 18 und dem Außenrohr 19, übertragen werden.

[0043] Die Funktion des FK basiert darauf, dass es die Kopplung durch viskose Reibung erlaubt, kurzzeitig hohe Kräfte bei hoher mechanischer Steifigkeit zu übertragen, wobei während der Zeitspanne der Kraftwirkung verglichen mit der Aktorauslenkung nur eine vernachlässigbare Relativverschiebung zwischen den Rohren auftritt. Die mechanische Steifigkeit des FK wird durch die mechanischen Steifigkeiten der beiden Rohre festgelegt. Sehr langsame Relativverschiebungen zwischen den Rohren finden praktisch kräftefrei statt.

Daher ist das FK zum Einsatz in kurzzeitig arbeitenden Schaltventilen oder auch periodisch arbeitenden Schaltventilen einsetzbar, wobei die Phase der Kraftübertragung verglichen mit der Aktorauslenkung nur zu einer vernachlässigbaren Relativverschiebung zwischen den Rohren im FK führt.

[0044] Bei Einspritzventilen für Verbrennungsmotoren treten Phänomene mit hinreichend unterschiedlichen Zeitskalen auf:

1. Typische Einspritzzeiten von ca. 1 ms - 3 ms, in der das FK hohe Kräfte übertragen muss.
2. Langsame thermische Vorgänge im Sekunden- bis Minutenbereich, wobei Ausgleichsvorgänge im FK praktisch ungehindert d.h. kräftefrei stattfinden.

[0045] Wiederholt auftretende Kraftwirkungen auf das FK kumulieren, indem sich der Verschiebeweg zwischen den Rohren addiert. Daher ist ein Rückstellmechanismus für das Innenrohr (18) relativ zum Außenrohr (19) erforderlich, der das Außenrohr (19) in der kräftefreien Zeit in die Anfangslage zurückversetzt.

[0046] Wird der PMA (12) über die elektrischen Anschlüsse (17) aufgeladen, so verlängert sich der PMA und öffnet das Kegelstrahlventil, wobei die Schließkraft vom PMA übernommen wird. Die Aktoreinheit stützt sich dabei über das Innenrohr und die viskose Reibung an dem Außenrohr ab. Die Schließkraft bewirkt über die viskose Reibung, dass die Aktoreinheit während der Öffnungsdauer mit konstanter Geschwindigkeit relativ zum Außenrohr nach oben gedrückt wird. Durch das geöffnete Kegelstrahlventil tritt währenddessen Kraftstoff in Form eines Kegelstrahles in den Brennraum aus. Zur Beendigung des Einspritzvorganges wird der PMA wieder über die elektrischen Anschlüsse 17 entladen, wobei der PMA wieder auf die ursprüngliche Länge kontrahiert und das Kegelstrahlventil durch die Schließkraft geschlossen wird. Zusätzlich unterstützt die Rückstellfeder 10 den Schließvorgang.

Da sich das Innenrohr 18 während des Einspritzvorganges nach oben um die Strecke ε bewegt hat, wird die Elastizität des Antriebes (Federkonstante c_D), die sich aus der Serienschaltung der Elastizität der Aktoreinheit (Federkonstante c_A) und der Elastizität der Ventilnadel (Federkonstante c_N) gemäß $1/c_D = 1/c_A + 1/c_N$ berechnet, nach erfolgter Entladung des PMA, um die Strecke ε stärker gedehnt und erzeugt daher eine zusätzliche Schließkraft: $dF = c_D \cdot \varepsilon$.

Im FK wirkt diese Kraft nach unten, d.h. sie bewirkt eine Rückstellung des Innenrohres 18 während der Ruhephase des Injektors zwischen den Einspritzvorgängen. Die viskose Reibung dämpft die Rückstellbewegung.

Durch die zusätzliche Schließkraft dF wird ein Rückstellmechanismus bereitgestellt.

[0047] Im Injektorbetrieb, verbunden mit periodischem Öffnen- und Schließen, stellt sich ein dynamisches Gleichgewicht derart ein, dass die Drift des Innenrohres 18 nach oben, die während des Einspritzvorganges eintritt, während der Ruhephase des Injektors zurückgesetzt wird. Diese Gleichgewichtslage hängt von der Tastrate, d. h. vom Verhältnis der Einspritzzeit zur Periodendauer ab. Da bei Einspritzventilen für Verbrennungsmotoren die Einspritzzeit wesentlich geringer als die Periodendauer ist, entspricht die dynamische Gleichgewichtslage des FK nahezu seiner Ruhelage bei beliebig langer Periodendauer. Daher ist der dynamische Tastrateneffekt für praktische Anwendungen vernachlässigbar.

[0048] Sehr langsame Relativverschiebungen zwischen dem Innenrohr 18 und dem Außenrohr 19, wie sie z.B. durch thermische Dehnung oder Setzeffekte des PMA hervorgerufen werden, können hingegen ungehindert stattfinden.

Vorteile eines FK (friktionsbasierten Kompensationselementes) in einem unter Druck direkt einspritzenden Injektor:

[0049]

1) sehr geringer Bauraumbedarf
2) sehr einfacher Aufbau aus nur zwei ineinander eingepassten Rohren
3) Mehrfachnutzung des Injektor-Außenrohres als Teil der konzentrischen Kraftstoffzufuhr und Teil des Kompensators
4) Mehrfachnutzung der Ölbefüllung im FK zur optimalen Verlustwärmeabfuhr vom PMA über das Innenrohr 18 und das Außenrohr 19 zum Kraftstoff und zur mechanischen Kopplung des Innenrohres zum Außenrohr mittels viskoser Reibung.
5) Es ist praktisch kein Aufwand zur Justage des FK nötig.
6) Eine Ölbefüllung muss nicht blasenfrei sein.
7) Der FK benötigt keine Druckbeaufschlagung zur Sicherstellung seiner Funktion.
8) Eine hochviskose Ölbefüllung oder ein dilatantes

Fluid können auf einfache Weise im Injektorinnenraum eingeschlossen werden.
9) Einfache Herausführung der elektrischen Anschlüsse zentral nach hinten.
10) Einfache Implementierung einer Feder zur mechanischen Kalibrierung des Injektordurchflusses.

[0050] Die Ausführung entsprechend **Fig.2** bietet darüber hinaus weitere Vorteile:

a) Konstruktive Vereinfachung des Aufbaues durch Wegfall des Federtellers 11.
b) Einfachste Einstellung der Vorspannkraft der Rückstellfeder durch eine Vorrichtung, mit der das Innenrohr 18 mit der gewünschten Kraft niedergedrückt wird, wobei das Verschweißen des Innenrohres 18 mit der Kopfplatte 14 der Aktoreinheit in diesem Zustand ermöglicht wird.
c) Die bei Schraubenfedern immer vorhandenen Seitenkräfte die bis zu ca. 20% ihrer Axialkraft betragen können werden bei dieser Variante nicht in die Ventilnadel eingeleitet.
d) Die Schraubenfeder wird nur statisch belastet. Eine Schwingungsanregung der Feder und darauf zurückgehende Effekte werden vermieden. Eine in Resonanz geratene Schraubenfeder kann rotieren, wodurch sich die Einleitung der Querkraft in die Ventilnadel zeitlich ändert und u.a. die Strahlgeometrie des Kegelstrahles beeinflusst wird.

[0051] Erreicht werden diese Vorteile durch Einleitung der Vorspann kraft der Rückstellfeder in das Innenrohr anstatt in das obere Ende der Ventilnadel.
[0052] Es ist der Einsatz eines dilatanten Fluids mit Vorteilen verbunden. Hier bewirkt der Anstieg der Scherrate ein Ansteigen der Viskosität des Fluids bis hin zu festkörperähnlichen Eigenschaften. Da diese fluidinternen Eigenschaftsänderungen im Millisekundenbereich ablaufen, lassen sie sich für die Zwecke eines friktionsbasierten Längenkompensationselementes ausnützen.
[0053] Weiterhin ist die Anwendung des FK nicht auf piezoelektrische Antriebe beschränkt. Es ist ebenso vorteilhaft bei allen Arten von Festkörperaktoren wie z. B. bei magnetostriktiven oder elektrostriktiven Aktoren einsetzbar.

Patentansprüche

1. Dosierventil mit Längenkompensationseinheit, bestehend aus:

   - einem Gehäuse,
   - einer Ventileinheit (30) zur Dosierung eines Fluids mittels eines Hubes einer Ventilnadel(1),
   - einer Zuleitung (31) für unter Druck stehendes Fluid,
   - einer Aktoreinheit (32) zur Erzeugung des Ventilhubes,
   - einer Längenkompensationseinheit, die im Kraftfluss zwischen Aktoreinheit (32) und dem Gehäuse des Dosierventils zwischengeschaltet ist,

   dadurch gekennzeichnet, dass
   die Längenkompensationseinheit durch ein friktionsbasiertes Kompensationselement (33) dargestellt ist, welches aus mindestens zwei parallel zur Aktoreinheit (32) ausgerichteten und diese umschließende Rohre (18,19), dem Innenrohr (18) und dem Außenrohr (19), besteht, die mittels einer Spielpassung ineinander geführt sind, wobei zwischen den Rohren ein Fluid mit dilatanten Eigenschaften vorhanden ist, bei dem die Viskosität mit zunehmender Scherrate zunimmt, so dass bei schnellen Relativbewegungen die Längenkompensationseinheit wie ein steifes Lager wirkt.

2. Dosierventil nach Anspruch 1, bei dem zum Andrükken der Ventilnadel (1) in Schließrichtung des Dosierventils eine vorgespannte Rückstellfeder (10) vorhanden ist.

3. Dosierventil nach Anspruch 2, bei dem die am Gehäuse abgestützte Rückstellfeder (10) andererseits an einem Ventilteller (11) angreift, der direkt mit der Ventilnadel (1) verbunden ist.

4. Dosierventil nach Anspruch 1, bei dem die am Gehäuse abgestützte Rückstellfeder (10) anderseits am Innenrohr (18) angreift.

5. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem elektrische Anschlüsse (17) der Aktoreinheit (32) durch das stirnseitig offene Innenrohr (18) nach außen führbar sind.

6. Dosierventil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem ein hochviskoses Fluid mit einer Viskosität von mindestens 200 Ns/m^2 vorhanden ist.

7. Dosierventil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem als hochviskoses Fluid ein Silikonöl eingesetzt wird.

8. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die in axialer Richtung im radial äußeren Bereich des Dosierventils verlaufende Fluidzuführung (31) über den Umfang gleichmäßig verteilt ist und eine Mantelstromkühlung bildet.

9. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Aktoreinheit (32) zur Wärmeabfuhr ein inertes Fluid beinhaltet.

10. Dosierventil nach einem der vorhergehenden An-

sprüche, bei dem ein Metallbalg (8) vorhanden ist, der den unter erhöhtem Fluiddruck stehenden Bereich der Ventileinheit (30) von dem mit niedrigerem Druck beaufschlagten Bereich der Aktoreinheit (32) trennt und als Durchführungselement für die Ventilnadel (1) von der Aktoreinheit (32) zur Ventileinheit (30) dient.

11. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zum Schutz des Metallbalges (8) vor Druckwellen eine zwischen Metallbalg (8) und mit Fluiddruck beaufschlagtem Bereich der Ventileinheit (30) positionierte Spielpassung (6) vorhanden ist.

12. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Erweiterung des Hubes der Aktoreinheit (32) der PMA (12) mit einer negativen Vorspannung ansteuerbar ist.

Claims

1. Metering valve including a length compensation unit and consisting of:

- a housing,
- a valve unit (30) for metering a fluid by means of a stroke of a valve needle (1),
- a supply duct (31) for fluid under pressure,
- an actuator unit (32) for generating a valve stroke,
- a length compensation unit which is inserted in the flow of force between actuator unit (32) and the housing of the metering valve,

characterized in that
the length compensation unit is provided by a friction-based compensation element (33) consisting of at least two tubes (18,19), the inner tube (18) and the outer tube (19), which are aligned in parallel with and enclose the actuator unit (32), said tubes being fitted one inside the other by means of a clearance fit, wherein a fluid having dilatant properties is present between the tubes, wherein the viscosity increases in response to an increasing shear rate, such that the length compensation unit acts like a rigid bearing in the case of rapid relative movements.

2. Metering valve according to claim 1, in which a pretensioned return spring (10) is provided for pressing the valve needle (1) in a closing direction of the metering valve.

3. Metering valve according to claim 2, in which the return spring (10) that is supported on the housing acts on a valve collar (11) on the other side, said collar being directly connected to the valve needle (1).

4. Metering valve according to claim 1, in which the return spring (10) that is supported on the housing acts on the inner tube (18) on the other side.

5. Metering valve according to one of the preceding claims, in which electrical connections (17) of the actuator unit (32) can be guided outwards through the inner tube (18) which is open at its end face.

6. Metering valve according to one of the claims 1 to 5, in which a high-viscosity fluid having a viscosity of at least 200 Ns/m^2 is present.

7. Metering valve according to one of the claims 1 to 5, in which a silicone oil is used as a high-viscosity fluid.

8. Metering valve according to one of the preceding claims, in which the fluid supply (31) which runs in an axial direction in the radially external region of the metering valve is distributed uniformly over the circumference and forms a jacket flow cooling.

9. Metering valve according to one of the preceding claims, in which the actuator unit (32) contains an inert fluid for heat dissipation.

10. Metering valve according to one of the preceding claims, in which provision is made for a metal bellows (8) that separates the region of the valve unit (30), this being under increased fluid pressure, from the region of the actuator unit (32), this being under low pressure, and acts as a ducting element for the valve needle (1) from the actuator unit (32) to the valve unit (30).

11. Metering valve according to one of the preceding claims, in which provision is made for a clearance fit (6), this being positioned between the metal bellows (8) and the region of the valve unit (30) that is exposed to fluid pressure, in order to protect the metal bellows (8) against pressure waves.

12. Metering valve according to one of the preceding claims, in which the PMA (12) can be controlled by means of a negative prestress in order to extend the stroke of the actuator unit (32).

Revendications

1. Soupape de dosage avec unité de compensation de longueur, composée

- d'un boîtier,
- d'une unité de soupape (30) pour le dosage

d'un fluide grâce à une course d'une aiguille de soupape (1),
- d'une conduite d'amenée (31) d'un fluide sous pression,
- d'une unité d'actionneur (32) pour créer une course de soupape,
- d'une unité de compensation de longueur intercalée dans le flux de force entre l'unité d'actionneur (32) et le boîtier de la soupape de dosage,

caractérisée en ce que l'unité de compensation de longueur est réalisée par un élément de compensation à base de friction (33) composé d'au moins deux tubes (18, 19) disposés parallèlement à l'unité d'actionneur (32) et entourant celle-ci, à savoir d'un tube interne (18) et d'un tube externe (19), ces tubes étant guidés l'un dans l'autre à l'aide d'un ajustement à jeu, un fluide ayant des propriétés de dilatation étant présent entre les tubes, la viscosité de ce fluide augmentant avec un degré croissant de cisaillement, de sorte que l'unité de compensation de longueur se comporte comme un palier rigide lors de mouvements relatifs rapides.

2. Soupape de dosage selon la revendication 1, dans laquelle un ressort de rappel (10) précontraint est prévu pour pousser l'aiguille de soupape (1) en direction de fermeture.

3. Soupape de dosage selon la revendication 2, dans laquelle le ressort de rappel (10) s'appuyant sur le boîtier s'engage de l'autre côté sur une tête de soupape (11) qui est directement reliée à l'aiguille de soupape (1).

4. Soupape de dosage selon la revendication 1, dans laquelle le ressort de rappel (10) s'appuyant sur le boîtier s'engage de l'autre côté sur le tube interne (18).

5. Soupape de dosage selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle des connecteurs électriques (17) de l'unité d'actionneur (32) peuvent passer à l'extérieur à travers l'ouverture frontale du tube interne (18).

6. Soupape de dosage selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle un fluide à haute viscosité ayant une viscosité d'au moins 200 Ns/m^2 est présent.

7. Soupape de dosage selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle une huile de silicone est employée comme fluide à haute viscosité.

8. Soupape de dosage selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'amenée de fluide (31) allant en direction axiale dans la partie radialement externe de la soupape de dosage est uniformément distribuée sur la périphérie et forme un refroidissement par flux double.

9. Soupape de dosage selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'unité d'actionneur (32) contient un fluide inerte pour la dissipation de la chaleur.

10. Soupape de dosage selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle un soufflet métallique (8) est prévu qui sépare la partie (30) de l'unité de soupape chargée d'une pression de fluide élevée de la partie (32) de l'unité d'actionneur chargée d'une pression moins élevée et sert d'élément de traversée de l'aiguille de soupape (1) depuis l'unité d'actionneur (32) vers l'unité de soupape (30).

11. Soupape de dosage selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle un ajustement à jeu (6) est positionné entre le soufflet métallique (8) et la partie de l'unité de soupape (30) chargée de la pression de fluide, afin de protéger le soufflet métallique (8).

12. Soupape de dosage selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'APM (12) peut être commandé par une tension de polarisation négative afin d'élargir la course de l'unité d'actionneur (32).

FIG 1

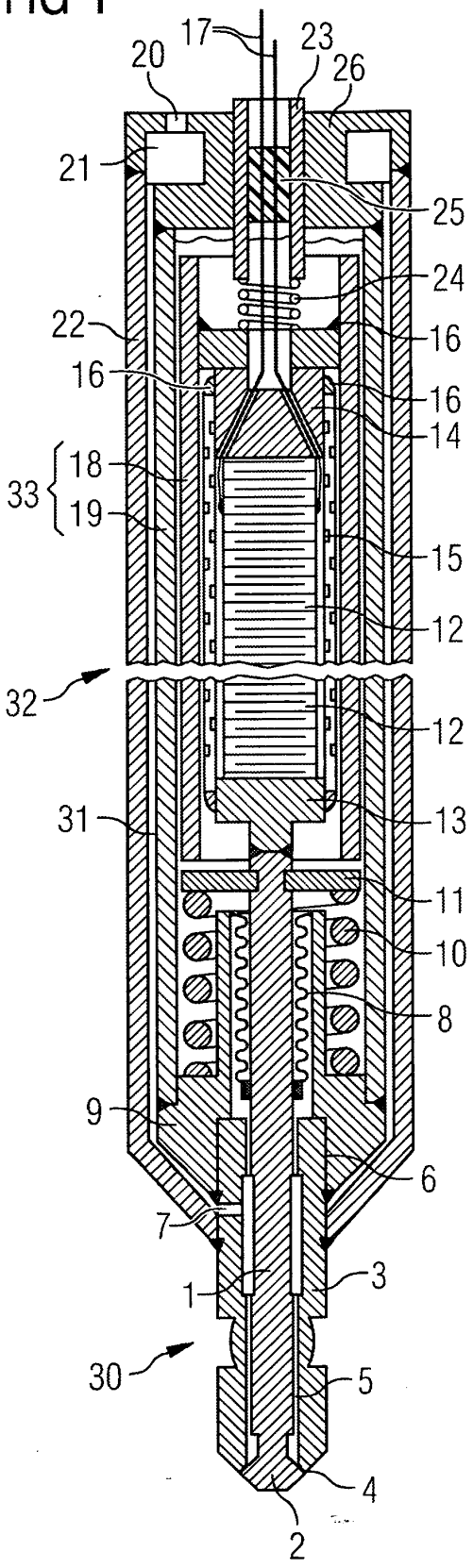
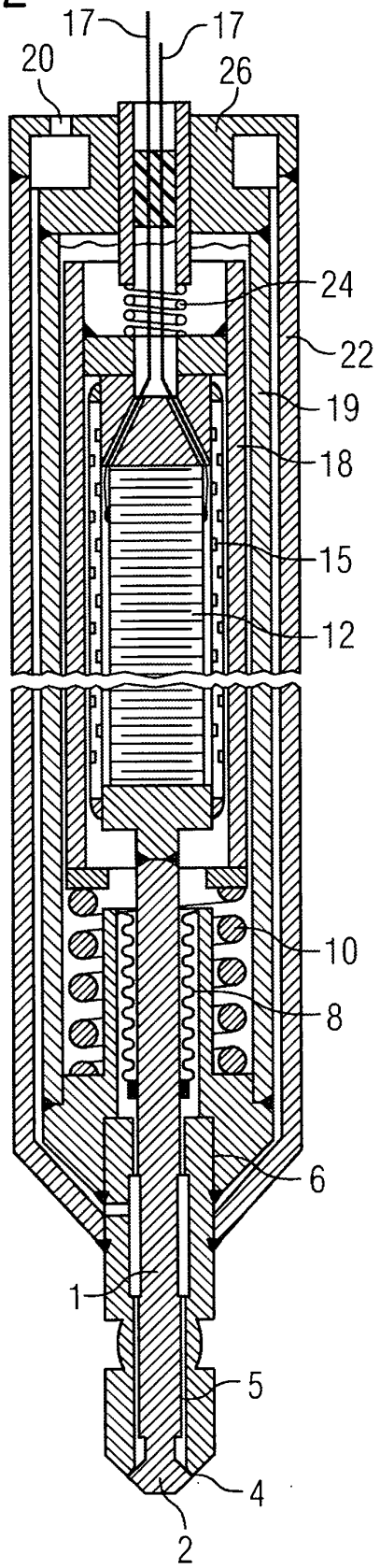

17
23
20
26
21
25
24
22
16
16
16
14
33
18
19
15
12
32
12
31
13
11
10
8
9
6
7
3
1
30
5
4
2

FIG 2



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

- DE 19940055 C **[0006]**
- DE 10039424 A **[0006]**