



(10) **DE 10 2006 031 373 B4** 2013.03.07

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 031 373.9**
(22) Anmeldetag: **06.07.2006**
(43) Offenlegungstag: **10.01.2008**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **07.03.2013**

(51) Int Cl.: **F02M 51/06 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Continental Automotive GmbH, 30165, Hannover, DE

(72) Erfinder:
Pirkel, Richard, 93055, Regensburg, DE; Reiländer, Udo, Dr., 87669, Rieden, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	101 45 620	B4
DE	103 07 003	B3
DE	35 33 085	A1
DE	101 30 857	A1
DE	198 38 862	A1

(54) Bezeichnung: **Einspritzsystem und Verfahren zum Herstellen eines Einspritzsystems**

(57) Hauptanspruch: Einspritzsystem (1) zum Einspritzen von Kraftstoff (P) unter einem vorbestimmten Kraftstoffdruck mit:

a) einem Piezo-Aktor (2) zum Heben und Senken einer Düsen-nadel (3a), welche eine Düse (3b) öffnet und schließt, in die der Kraftstoff (P) eingespritzt wird; und

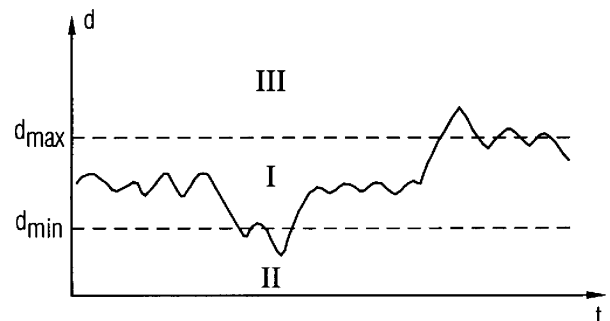
b) einem hydraulischen Kompensator (4),

b1) welcher einen Zylinder (5), dessen Innenwand (6) einen ersten Radius (R1) hat, und

b2) einen in den Zylinder (5) eingreifenden Kolben (7) aufweist, dessen Aussenwand (8) einen zweiten Radius (R2) hat,

b3) wobei zwischen dem Zylinder (5) und dem Kolben (7) ein Zwischenraum (9) ausgebildet ist, der mit einem Fluid (10) gefüllt ist,

b4) wobei der Zwischenraum (9) zum hydraulischen Ausgleich mit einem Ausgleichsvolumen über einen Strömungsspalt (11) gekoppelt ist, dessen Spalthöhe (h) höchstens die Differenz zwischen einem sich aus dem ersten Radius (R1) ergebenden ersten Durchmesser des Zylinders (5) und einem sich aus dem zweiten Radius (R2) ergebenden zweiten...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Einspritzsystem und ein Verfahren zum Herstellen eines Einspritzsystems.

[0002] Einspritzsysteme und insbesondere leckölblose Common-Rail-Einspritzsysteme erfordern ein Steuerelement, wie beispielsweise einen Piezo-Aktor im Hochdruckraum des Einspritzsystems. Das technische Gebiet der Erfindung betrifft insbesondere piezogesteuerte Common-Rail-Injektoren oder Einspritzsysteme ohne Leckölrücklauf mit einem Piezo-Aktor oder einem Piezo-Aktuator zum Öffnen und Schließen einer Düse mittels einer Düsennadel im Hochdruckraum, der eine hydraulische Längsausgleichsvorrichtung und einen Hebelübersetzer zur Betätigung der Düsennadel aufweist. Die Längsausgleichsvorrichtung weist insbesondere einen in einer Bohrung der Bodenplatte des Piezo-Stapels des Piezo-Aktors eingreifenden Kolben, ein hydraulisches Volumen, beispielsweise ein Kraftstoffvolumen, zwischen der Bodenplatte und dem Kolben und eine Rückstellfeder zum Rückstellen des Piezo-Stapels auf. Ein solches Einspritzsystem ist beispielsweise aus der DE 101 45 620 B4 bekannt.

[0003] Die Druckschriften DE 198 38 862 A1 und DE 35 33 058 A1 zeigen hydraulische Längenausgleichselemente, die eine Längenänderung eines Piezo-Aktors eines Kraftstoff-Einspritzventils auszugleichen vermögen.

[0004] Die Offenlegungsschrift DE 101 30 857 A1 zeigt eine Längen-Kompensationseinrichtung, wobei die Kompensation durch eine entsprechend ausgestaltete elektronische Ansteuerung von mehreren Piezo-Aktoren bewerkstelligt wird.

[0005] Die deutsche Patentschrift DE 103 07 003 B3 zeigt einen mechanischen Hubübersetzer für den Piezo-Aktor eines Kraftstoff-Einspritzventils, wobei durch den Hubübersetzer zu jeder Zeit sichergestellt wird, dass der Piezo-Aktuator spielfrei mit der Düsennadel des Kraftstoffeinspritz-Ventils zusammenwirkt.

[0006] Wird wie bei dem oben beschriebenen Einspritzsystem die Düsennadel des Injektors direkt vom Piezo-Aktor über einen Umsetzer angetrieben und auf eine kostenintensive Servounterstützung verzichtet, besteht der prinzipielle Nachteil eines kleinen Nutzhubes des Piezo-Aktors. Außerdem ist ein Einspritzsystem mit Direktantrieb gegenüber einem mit Servounterstützung leichter kontrollierbar bzw. steuerbar. Einerseits muss der Piezo-Aktor die zur Nadelöffnung benötigte mechanische Arbeit ins System einprägen, andererseits müssen auch Fertigungstoleranzen und Temperatureffekte ausgeglichen werden. Der Anmelderin ist intern bekannt, zum Ausgleich von Temperatureffekten spezielle Werkstoff-

fe für die einzelnen Injektorkomponenten einzusetzen. Der Anmelderin ist weiterhin intern bekannt, zum Ausgleich von Fertigungstoleranzen die im jeweiligen Injektor verbauten Komponenten einander zuzuordnen. Dennoch verbleibt in der Regel ein Restfehler, der in Form eines Leerhubs vorgehalten werden muss, um die Funktion und die Betriebssicherheit des Injektors bzw. Einspritzsystems zu gewährleisten.

[0007] Durch Einsatz einer wie oben beschriebenen Längsausgleichsvorrichtung oder hydraulischen Kompensators können gleichzeitig alle Toleranzen und Temperaturdehnungseffekte ausgeglichen werden. Allerdings zeigt auch ein hydraulischer Kompensator Temperatureffekte. Beispielsweise variiert die Viskosität mancher Füllung des hydraulischen Kompensators vorgesehenen Fluide – insbesondere der Treibstoff bei sogenannten offenen Systemen, in denen der hydraulische Kompensator im Hochdruckraum des Einspritzsystems angeordnet ist – im vorgesehenen Betriebstemperaturbereich des Injektors teilweise um den Faktor 35 oder mehr. Dies führt nachteiligerweise zu stark unterschiedlichen Einspritzverhalten bei unterschiedlichen Temperaturen. Eine Änderung der Viskosität des Fluids bedingt eine Änderung der Kriechrate und damit eine Änderung der Dämpfung des hydraulischen Kompensators. Nachdem der Kompensator z. B. zum Ausgleich von durch Systemdruckunterschieden verursachten Längenänderung eine Minimaldynamik und andererseits z. B. zur Minimierung des Hubverlustes eine Maximaldynamik aufweisen muss, sind die Grenzen der Kriechrate bereits durch das System vorgegeben. Da die Änderung der Viskosität starken Einfluss auf die Kriechrate hat, kann es vorkommen, dass bei stark von der Auslegung abweichenden Temperaturen die geforderten Randbedingungen nicht mehr erfüllt sind und somit die Funktion des Injektors nicht mehr gewährleistet ist. Zur Illustrierung dieser Problematik ist in [Fig. 1](#) ein d-t-Diagramm dargestellt. d bezeichnet dabei die Dämpfung des Systems und t bezeichnet die Zeit. Die Bereiche II und III zeigen Bereiche, in denen die Funktion des Injektors nicht mehr gewährleistet ist und der Bereich I zeigt einen Bereich, in dem die Funktion des Injektors gewährleistet ist. Z. B. kann bei hoher Last, insbesondere durch den Motor, und damit hohen Öffnungskräften sowie hohen Temperaturen und zusätzlich vielen Einspritzungen pro Zyklus die Hubreserve des Piezo-Antriebs zu gering sein, um die Nadel bei allen Einspritzungen zu öffnen. In einem solchen Fall liegt die Dämpfung d in dem Bereich II. Andererseits kann bei kaltem Kraftstoff die Kriechrate des Kompensators zu gering sein und somit bei Raildruck-Wegnahme oder Druckabfall eine ungewollte Einspritzung auslösen. In einem solchen Fall liegt die Dämpfung d in dem Bereich III und es kommt zu einer Dauereinspritzung.

[0008] Nachdem oben diskutierte Problematik insbesondere durch die temperaturabhängige Änderung

der Viskosität des Fluids des Kompensators bedingt ist, ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Einspritzsystem mit einem hydraulischen Kompensator bereitzustellen, der temperaturkompensiert ist.

[0009] Weiterhin ist es eine Aufgabe, ein Einspritzsystem mit im Hochdruckraum angeordneten Piezo-Aktor und temperaturkompensierten, hydraulischen Kompensator bereitzustellen.

[0010] Erfindungsgemäß wird zumindest eine dieser gestellten Aufgaben durch ein Einspritzsystem mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und/oder durch ein Verfahren zum Herstellen eines Einspritzsystems mit den Merkmalen des Patentanspruchs 16 gelöst.

[0011] Demnach wird erfindungsgemäß ein Einspritzsystem zum Einspritzen von Kraftstoff unter einem vorbestimmten Kraftstoffdruck vorgeschlagen, welches aufweist:

- einen Piezo-Aktor zum Heben einer Düsennadel, welche eine Düse öffnet, in die der Kraftstoff eingespritzt wird, und
- einen hydraulischen Kompensator, welcher einen Zylinder, dessen Innenwand einen ersten Radius hat, und einen in den Zylinder eingreifenden Kolben aufweist, dessen Aussenwand einen zweiten Radius hat, wobei zwischen dem Zylinder und dem Kolben ein Zwischenraum ausgebildet ist, der mit einem Fluid gefüllt ist, wobei der Zwischenraum zum hydraulischen Ausgleich mit einem Ausgleichsvolumen über einen Strömungsspalt gekoppelt ist, dessen Spalthöhe höchstens die Differenz zwischen einem sich aus dem ersten Radius ergebenden ersten Durchmesser des Zylinders und einem sich aus dem zweiten Radius ergebenden zweiten Durchmesser des Kolbens ist, wobei der Kompensator Mittel aufweist, welche die Spalthöhe temperaturabhängig derart anpassen, dass eine Änderung einer Dämpfung des Kompensators in Folge einer temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids im Wesentlichen kompensiert wird.

[0012] Des Weiteren wird ein Verfahren zum Herstellen eines Einspritzsystems zum Einspritzen von Kraftstoff unter einem vorbestimmten Kraftstoffdruck vorgeschlagen, welches folgende Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Piezo-Aktors zum Heben einer Düsennadel, welche eine Düse öffnet, in die der Kraftstoff eingespritzt wird;
- Koppeln des Piezo-Aktors mit einem hydraulischen Kompensator, welcher einen Zylinder, dessen Innenwand einen ersten Radius hat, und einen in den Zylinder eingreifenden Kolben aufweist, dessen Aussenwand einen zweiten Radius hat, wobei zwischen dem Zylinder und dem Kolben ein Zwischenraum ausgebildet ist, der mit ei-

nem Fluid gefüllt ist, wobei der Zwischenraum zum hydraulischen Ausgleich mit einem Ausgleichsvolumen über einen Strömungsspalt gekoppelt ist, dessen Spalthöhe höchstens die Differenz zwischen dem ersten Radius und dem zweiten Radius ist, und

- Versehen des Kompensators mit Mitteln, welche die Spalthöhe temperaturabhängig im Betrieb derart anpassen, dass eine Änderung einer Dämpfung des Kompensators in Folge einer temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids im Wesentlichen kompensiert wird.

[0013] Die erfinderische Idee liegt im Wesentlichen darin, die Änderung einer Dämpfung des Kompensators in Folge einer temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids und damit der Kriechrate durch eine temperaturabhängige Änderung der Spalthöhe des Strömungspaltes zwischen Zylinder und Kolben zu kompensieren. Durch die erfindungsgemäße Kompensation ist die Dämpfung des Kompensators über den gesamten Betriebstemperaturbereich des Einspritzsystems im Wesentlichen konstant. Somit ist das Zeitverhalten des sich im Kraftfluss zur Betätigung des Düsennadel befindlichen Kompensators über der Temperatur konstant. Das konstante Verhalten des Kompensators bedingt den besonderen Vorteil der exakten Zumessung der Einspritzmenge und einer exakten Einhaltung des Einspritzzeitverhaltens (Einspritztimings).

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist der Zylinder einen ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Kolben einen zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, wobei der erste Wärmeausdehnungskoeffizient derart größer als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient ist, dass sich die Spalthöhe temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids im Wesentlichen kompensiert wird. Dadurch dass der erste Wärmeausdehnungskoeffizient größer als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient ist, wird der Strömungsspalt zwischen Zylinder und Kolben mit steigender Temperatur kleiner, was bezüglich der Kriechrate der sinkenden Viskosität des Fluids bei steigender Temperatur entgegenwirkt. Die Materialien für den Kolben und den Zylinder können vorteilhafterweise hinsichtlich ihrer Wärmeausdehnungskoeffizienten so gewählt werden, dass die Dämpfungseigenschaften des Kompensators für einen vorbestimmten Betriebstemperaturbereich des Einspritzsystems im Wesentlichen konstant sind.

[0016] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist der Zylinder ein Aluminium mit dem ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Kolben einen Stahl mit dem zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten auf.

[0017] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist der Kompensator eine Hülse mit einer vorbestimmten Wandstärke auf, welche auf den Kolben aufgedrückt ist oder in den Zylinder eingedrückt ist und die Spalthöhe temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids im Wesentlichen kompensiert wird. Vorteilhafterweise kann durch die Wahl der Wandstärke der Hülse die Spaltveränderung über Temperatur – weitgehend unabhängig von der Gesamtbaugröße des Kompensators – flexibel eingestellt werden. Als besonderer Vorteil ist durch die Verwendung der Hülse die Gesamtbaugröße des Kompensators von der Temperaturkompensation entkoppelt. Vorteilhafterweise wird die Hülse in das Bauteil montiert, das eine möglichst zylindrische Gestalt besitzt. Bei der Verwendung eines zylindrischen Kolbens wird die Hülse insbesondere auf diesen aufgedrückt. Bei Verwendung eines sphärischen Kolbens, wobei die Kugelgestalt dessen besonders unempfindlich gegen Verkippen ist, kann die Hülse zur einfacheren Montage in den Zylinder eingedrückt werden.

[0018] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist die Hülse einen geringeren Youngschen Modul als der Zylinder und als der Kolben auf. Vorteilhafterweise wird hierdurch erreicht, dass die bauartspezifischen Verhältnisse des Einspritzsystems im Wesentlichen unabhängig von den eingesetzten Einpreßkräften sind. Daraus ergibt sich ein kostengünstigeres und auch sichereres Einspritzsystem. Außerdem sind hierdurch die Randbedingungen des Einspritzsystems, insbesondere eine sichere Preßpassung in allen Betriebszuständen und über einen großen Temperaturbereich gewährleistet. Somit kann die erfindungsgemäße Anordnung einerseits leichter ausgelegt werden und andererseits kann die Gesamtbaugröße des Kompensators vorteilhafterweise unter weitgehender Beibehaltung der Dämpfungseigenschaften des Kompensators variiert werden.

[0019] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die Hülse derart auf den Kolben aufgedrückt, dass bei einer maximalen Einsatztemperatur des Einspritzsystems noch eine Presspassung vorliegt. Somit ist vorteilhafterweise sichergestellt, dass sich die Hülse auch bei ungünstiger Temperatur nicht aus dem Einbauort löst.

[0020] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die Hülse derart in den Zylinder eingedrückt,

dass bei einer minimalen Einsatztemperatur des Einspritzsystems noch eine Presspassung vorliegt. Somit ist vorteilhafterweise sichergestellt, dass sich die Hülse auch bei ungünstiger Temperatur nicht aus dem Einbauort löst.

[0021] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist zumindest ein Dehnungsbolzen mit einem dritten Wärmeausdehnungskoeffizienten in zumindest einer Bohrung des Kolbens mit dem zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten vorgesehen, wobei der dritte Wärmeausdehnungskoeffizient derart größer als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient ist, dass der Dehnungsbolzen den Kolben temperaturabhängig derart in radialer Richtung aufdehnt, dass sich die Spalthöhe temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids im Wesentlichen kompensiert wird. Ein besonderer Vorteil der Verwendung des Dehnungsbolzens in dem Kolben ist, dass die verschleißgefährdenden Gleitflächen im Strömungsspalt aus einem bezüglich verschleiß- und härteoptimierten Werkstoff gefertigt werden können. Über den Durchmesser des Bolzens kann dann die Änderung des Strömungsspaltess stattfinden.

[0022] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind der Kolben mit dem zweiten Radius und ein einzelner Dehnungsbolzen mit einem vorbestimmten dritten Radius konzentrisch angeordnet, wobei der dritte Radius kleiner als der zweite Radius ist und die temperaturabhängige Spalthöhe einstellt.

[0023] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist eine vorbestimmte Anzahl von Dehnungsbolzen in den Kolben integriert, wobei zumindest jeweils zwei Dehnungsbolzen äquidistant zur z-Achse des Kolbens angeordnet sind. Somit können mehrere auf einem oder mehreren Teilkreisen angeordnete Dehnungsbolzen eingesetzt werden. Hierdurch ergibt sich ein zusätzlicher Vorteil dahingehend, dass im Drehzentrum des Kolbens ebenfalls das bezüglich härte- und verschleißoptimierte Material eingesetzt werden kann.

[0024] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist der Kolben eine sphärische oder zylindrische Oberfläche auf.

[0025] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist der hydraulische Kompensator eine Rückstellfeder zur Rückstellung des Kompensators auf, welche den Zylinder und den Kolben mechanisch koppelt.

[0026] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind/ist der Piezo-Aktor und/oder der Kompensator in einem Hochdruckbereich des Einspritzsystems angeordnet.

[0027] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist das Einspritzsystem als ein Common-Rail-Einspritzsystem ausgestaltet.

[0028] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnung angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

[0029] **Fig. 1** ein d-t-Diagramm zur Illustration der der vorliegenden Erfindung zugrundeliegenden Problematik;

[0030] **Fig. 2** ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels eines Einspritzsystems mit einem hydraulischen Kompensator gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0031] **Fig. 3** ein schematisches Blockschaltbild des hydraulischen Kompensators gemäß **Fig. 2**;

[0032] **Fig. 4** ein schematisches Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators;

[0033] **Fig. 5** ein schematisches Blockschaltbild eines dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators;

[0034] **Fig. 6** eine Querschnittsansicht des dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators gemäß **Fig. 5**;

[0035] **Fig. 7** ein schematisches Blockschaltbild eines vierten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators;

[0036] **Fig. 8** ein schematisches Blockschaltbild eines fünften Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators;

[0037] **Fig. 9** ein schematisches Blockschaltbild eines sechsten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators; und

[0038] **Fig. 10** ein schematisches Ablaufdiagramm eines bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0039] In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen – sofern nichts anderes angegeben ist – mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0040] In **Fig. 2** ist ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels eines Einspritzsystems **1** mit einem hydraulischen Kompensator **4** gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt.

[0041] Das erfindungsgemäße Einspritzsystem **1** zum Einspritzen von Kraftstoff P unter einem vorbestimmten Kraftstoffdruck, beispielsweise 2000 bar, weist einen Piezo-Aktor **2** zum Heben und Senken einer Düsenadel **3a** auf, welche eine Düse **3b** öffnet und schließt, in die der Kraftstoff P eingespritzt wird. Vorzugsweise weist der Piezo-Aktor **2** einen steuerbaren Piezo-Stapel **23** auf, welcher in Abhängigkeit eines Steuersignals einen Hub zum Betätigen der Düsenadel **3a** in einer Schließrichtung oder in einer Öffnungsrichtung bereitstellt.

[0042] Der erfindungsgemäße hydraulische Kompensator **4** weist einen Zylinder **5**, einen in den Zylinder **5** eingreifenden Kolben **7** und ein in einem zwischen dem Zylinder **5** und dem Kolben **7** ausgebildeten Zwischenraum **9** angeordnetes Fluid **10** auf.

[0043] Das Fluid **10** ist vorzugsweise der Kraftstoff P mit dem vorbestimmten Kraftstoffdruck. In einem solchen Fall bildet das Innere des Gehäuses **21** des Einspritzsystems **1** einen Hochdruckbereich HD aus.

[0044] Die Innenwand **6** des Zylinders **5** hat einen ersten Radius R1 und die Aussenwand **8** des in den Zylinder **5** eingreifenden Kolbens **7** hat einen zweiten Radius R2 (siehe **Fig. 6**). Der Zwischenraum **9** ist zum hydraulischen Ausgleich mit einem Ausgleichsvolumen über einen Strömungsspalt **11** gekoppelt, dessen Spalthöhe h höchstens die Differenz zwischen einem sich aus dem ersten Radius R1 ergebenden ersten Durchmesser des Zylinders **5** und einem sich aus dem zweiten Radius R2 ergebenden zweiten Durchmesser des Kolbens **7** ist (siehe **Fig. 6**).

[0045] Weiterhin sind der Zylinder **5** und der Kolben **7** derart ausgestaltet, dass sie die Spalthöhe h temperaturabhängig derart einstellen, dass eine Änderung einer Dämpfung des Kompensators **4** in Folge einer temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids **10** im Wesentlichen kompensiert oder kompensiert wird.

[0046] Eine extrahierte Darstellung des hydraulischen Kompensators **4** findet sich in **Fig. 3**. Zur temperaturabhängigen Einstellung der Spalthöhe h weist der Zylinder **5** einen ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Kolben **7** einen zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, wobei der erste Wärmeausdehnungskoeffizient derart größer als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient ist, dass sich die Spalthöhe h temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators **4** in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids **10** im Wesentlichen kompensiert oder kompensiert wird. Vorzugsweise ist der Zylinder **5** ein Aluminium mit dem ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Kolben **7** ein Stahl mit dem zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten.

[0047] Gemäß [Fig. 2](#) weist das Einspritzsystem **1** weiterhin eine Hebelübersetzungsvorrichtung **18** zur Übersetzung des von dem Piezo-Stapels **23** bereitgestellten Hubes in einen veränderten, insbesondere vergrößerten Hub auf. Die Hebelübersetzungsvorrichtung **18** hat einen piezoseitigen Hebel **19**, der als Glocke ausgebildet ist und zwei oder mehrere düsen-nadelseitige Hebel **20a** und **20b** zum Anheben und Absenken der Düsennadel **3a**.

[0048] [Fig. 4](#) zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators **4**. Bei dem hydraulischen Kompensator **4** gemäß [Fig. 4](#) wird die erfindungsgemäße Temperaturkompensation mittels einer Hülse **12** erzielt. In einem solchen Fall können der Zylinder **5** und der Kolben **7** aus dem gleichen Material, z. B. Stahl, gefertigt sein. Gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel nach [Fig. 4](#) ist die Hülse **12** mit einer vorbestimmten Wandstärke w auf den Kolben **7** aufgespresst. Die auf den Kolben **7** aufgespresste Hülse **12** stellt die Spalthöhe h temperaturabhängig derart ein, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators **4** in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids **10** im Wesentlichen kompensiert wird. Durch den kleineren Youngschen Modul der Hülse **12** wird im Wesentlichen sichergestellt, dass der Kolben **7** die Hülse **12** innen fühlt und nicht die Hülse **12** den Kolben **7** zusammen quetscht. Die Hülse **12** ist insbesondere derart auf den Kolben **7** aufgespresst, dass bei einer vorbestimmten maximalen Einsatztemperatur des Einspritzsystems **1** noch eine Presspassung vorliegt und sich die Hülse nicht aus ihrem Einbauort löst. In ihrem oberen Bereich weist die Hülse **12** vorzugsweise eine Längerrücknahme **24** zur Vermeidung einer Kollision mit dem Zylinder **5** auf. Bezugszeichen A1 bezeichnet den Antrieb des hydraulischen Kompensators **4** und Bezugszeichen A2 bezeichnet den Abtrieb des hydraulischen Kompensators **4**.

[0049] Weiterhin weist der hydraulische Kompensator **4** vorzugsweise eine Rückstellfeder **15** zur Rückstellung des Kompensators **4** auf. Die Rückstellfeder **15** koppelt den Zylinder **5** und den Kolben **7** mechanisch.

[0050] Das dritte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators gemäß [Fig. 5](#) unterscheidet sich von dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 4](#) dahingehend, dass der Kolben **7** eine sphärische Oberfläche besitzt und die Hülse **12** nicht auf den Kolben **7** aufgespresst ist, sondern in den Zylinder **7** eingepresst ist. Beispielsweise bestehen der Kolben **7** und der Zylinder **5** aus einem Stahl und die Hülse **12** aus einem Aluminium mit einem kleineren Youngschen Modul. Demnach wird die Hülse **12** mit dem kleineren Youngschen Modul die Spalthöhe h temperaturabhängig derart ändern, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators **4** in Folge der temperaturabhängigen Visko-

sitätsänderung des Fluids **10** im Wesentlichen kompensiert oder kompensiert wird. Vorzugsweise ist die Hülse **12** derart in den Zylinder eingepresst, dass bei einer vorbestimmten minimalen Einsatztemperatur des Einspritzsystems **1** noch eine Presspassung vorliegt.

[0051] [Fig. 6](#) zeigt eine Querschnittsansicht des dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators **4** gemäß [Fig. 5](#). Dabei bezeichnet h_1 die Spalthöhe und w_1 die Wandstärke der Hülse **12** bei einer ersten Temperatur und h_2 die Spalthöhe und w_2 die Wandstärke der Hülse **12** bei einer zweiten Temperatur, wobei die zweite Temperatur höher als die erste Temperatur ist. Bei dem Übergang von der ersten Temperatur auf die zweite Temperatur wird sich die Innenwand der Hülse **12** zum Kolben **7** bewegen. Ebenso wird sich die Außenwand **8** des Kolbens **7** zur Innenwand der Hülse **12** bei einer Temperaturerhöhung von der ersten Temperatur auf die zweite Temperatur bewegen. Somit wird sich die Spalthöhe h_2 bei der zweiten Temperatur ergeben, welche geringer als die Spalthöhe h_1 bei der ersten Temperatur ist.

[0052] Die Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators **4** gemäß der [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) unterscheiden sich von dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 4](#) dahingehend, dass keine Hülse auf den Kolben **7** aufgespresst ist, sondern dass zumindest ein Dehnungsbolzen **13a**, **13b** mit einem dritten Wärmeausdehnungskoeffizienten in zumindest einer Bohrung **14** des Kolbens **7** mit dem zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten vorgesehen ist. Insbesondere ist der dritte Wärmeausdehnungskoeffizient des Dehnungsbolzens **13a**, **13b** derart größer als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient des Kolbens **7**, so dass der Dehnungsbolzen **13a**, **13b** den Kolben **7** temperaturabhängig in radialer Richtung des Kolbens **7** derart aufdehnt, dass sich die Spalthöhe h temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators **4** in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids **10** im Wesentlichen kompensiert wird. Beispielsweise bestehen der Zylinder **5** und der Kolben **7** aus einem Stahl und der Dehnungsbolzen **13a**, **13b** aus Aluminium oder Pernima.

[0053] Gemäß der [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) sind der Kolben **7** mit dem zweiten Radius R_2 und ein einzelner Dehnungsbolzen **13a** mit einem vorbestimmten dritten Radius R_3 konzentrisch angeordnet, wobei der dritte Radius R_3 kleiner als der zweite Radius R_2 ist und die temperaturabhängige Spalthöhe h einstellt. Gemäß dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 7](#) weist der Kolben **7** eine sphärische Oberfläche und gemäß dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 8](#) eine zylindrische Oberfläche auf.

[0054] Gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen hydraulischen Kompensators **4** gemäß **Fig. 9** ist eine vorbestimmte Anzahl von Dehnungsbolzen **13a**, **13b** in dem Kolben **7** integriert. Vorzugsweise sind zumindest jeweils zwei Dehnungsbolzen **13a**, **13b** äquidistant zur z-Achse z des Kolbens **7** angeordnet. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit sind in **Fig. 9** zwei Dehnungsbolzen **13a**, **13b** dargestellt.

[0055] **Fig. 10** zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines Einspritzsystems **1** zum Einspritzen von Kraftstoff P unter einem vorbestimmten Kraftstoffdruck. Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand des Blockschaltbildes in **Fig. 10** erläutert. Das erfindungsgemäße Verfahren weist folgende Verfahrensschritte a bis c auf:

Verfahrensschritt a:

[0056] Es wird ein Piezo-Aktor **2** zum Heben und Senken einer Düsennadel **3a** bereitgestellt, welcher eine Düse **3b** öffnet und schließt, in die der Kraftstoff P eingespritzt wird.

Verfahrensschritt b:

[0057] Der Piezo-Aktor **2** wird mit einem hydraulischen Kompensator **4** gekoppelt. Der hydraulische Kompensator **4** weist einen Zylinder **5**, dessen Innenwand **6** einen ersten Radius R1 hat, und einen in den Zylinder eingreifenden Kolben **7** auf, dessen Aussenwand **8** einen zweiten Radius R2 hat, wobei zwischen dem Zylinder **5** und dem Kolben **7** ein Zwischenraum **9** ausgebildet wird, der mit einem Fluid **10**, beispielsweise dem Kraftstoff P, gefüllt ist. Der Zwischenraum **9** ist zum hydraulischen Ausgleich mit einem Ausgleichsvolumen (nicht gezeigt) über einem Strömungsspalt **11** gekoppelt, dessen Spalthöhe h höchstens die Differenz zwischen einem sich aus dem ersten Radius R1 ergebenden ersten Durchmesser des Zylinders **5** und einem sich aus dem zweiten Radius R2 ergebenden zweiten Durchmesser des Kolbens **7** ist.

Verfahrensschritt c:

[0058] Der Kompensator **4** wird mit Mitteln **5**, **7**; **12**; **13a**, **13b** versehen, welche die Spalthöhe temperaturabhängig im Betrieb derart anpassen oder einstellen, dass eine Änderung einer Dämpfung des Kompensators **4** in Folge einer temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids **10** im Wesentlichen kompensiert oder gänzlich kompensiert wird.

[0059] Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt,

sondern auf vielfältige Art und Weise modifizierbar. Beispielsweise ist es denkbar, dem Piezo-Aktor als ein offenes System wie in den vorhergehenden Ausführungsbeispielen beschrieben, oder als ein geschlossenes Systems auszubilden.

Patentansprüche

1. Einspritzsystem (**1**) zum Einspritzen von Kraftstoff (P) unter einem vorbestimmten Kraftstoffdruck mit:

a) einem Piezo-Aktor (**2**) zum Heben und Senken einer Düsennadel (**3a**), welche eine Düse (**3b**) öffnet und schließt, in die der Kraftstoff (P) eingespritzt wird; und

b) einem hydraulischen Kompensator (**4**),
b1) welcher einen Zylinder (**5**), dessen Innenwand (**6**) einen ersten Radius (R1) hat, und
b2) einen in den Zylinder (**5**) eingreifenden Kolben (**7**) aufweist, dessen Aussenwand (**8**) einen zweiten Radius (R2) hat,

b3) wobei zwischen dem Zylinder (**5**) und dem Kolben (**7**) ein Zwischenraum (**9**) ausgebildet ist, der mit einem Fluid (**10**) gefüllt ist,

b4) wobei der Zwischenraum (**9**) zum hydraulischen Ausgleich mit einem Ausgleichsvolumen über einen Strömungsspalt (**11**) gekoppelt ist, dessen Spalthöhe (h) höchstens die Differenz zwischen einem sich aus dem ersten Radius (R1) ergebenden ersten Durchmesser des Zylinders (**5**) und einem sich aus dem zweiten Radius (R2) ergebenden zweiten Durchmesser des Kolbens (**7**) ist,

b5) wobei der Kompensator (**4**) Mittel (**5**, **7**; **12**; **13a**, **13b**) aufweist, welche die Spalthöhe (h) temperaturabhängig derart einstellen, dass eine Änderung einer Dämpfung des Kompensators (**4**) in Folge einer temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids (**10**) im Wesentlichen kompensiert wird.

2. Einspritzsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinder (**5**) einen ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Kolben (**7**) einen zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, wobei der erste Wärmeausdehnungskoeffizient derart größer als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient ist, dass sich die Spalthöhe (h) temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators (**4**) in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids (**10**) im Wesentlichen kompensiert wird.

3. Einspritzsystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinder (**5**) ein Aluminium mit dem ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Kolben (**7**) einen Stahl mit dem zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist.

4. Einspritzsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kompensator (**4**) eine Hülse (**12**) mit einer vorbestimmten Wandstärke (w) auf-

weist, welche auf den Kolben (7) aufgepresst ist oder in den Zylinder (5) eingepresst ist und die Spalthöhe (h) temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators (4) in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids (10) im Wesentlichen kompensiert wird.

5. Einspritzsystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse (12) einen kleineren Youngschen Modul als der Zylinder (5) und als der Kolben (7) aufweist.

6. Einspritzsystem nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse (12) derart auf den Kolben (7) aufgepresst ist, dass bei einer vorbestimmten maximalen Einsatztemperatur des Einspritzsystems (1) noch eine Presspassung vorliegt.

7. Einspritzsystem nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse (12) derart in den Zylinder (5) eingepresst ist, dass bei einer vorbestimmten minimalen Einsatztemperatur des Einspritzsystems (1) noch eine Presspassung vorliegt.

8. Einspritzsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Dehnungsbolzen (13a, 13b) mit einem dritten Wärmeausdehnungskoeffizienten in zumindest einer Bohrung (14) des Kolbens (7) mit dem zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten vorgesehen ist, wobei der dritte Wärmeausdehnungskoeffizient derart größer als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient ist, so dass der Dehnungsbolzen (13a, 13b) den Kolben (7) temperaturabhängig in radialer Richtung des Kolbens (7) derart aufdehnt, dass sich die Spalthöhe (h) temperaturabhängig derart ändert, dass die Änderung der Dämpfung des Kompensators (4) in Folge der temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids (10) im Wesentlichen kompensiert wird.

9. Einspritzsystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Kolben (7) mit dem zweiten Radius (R2) und ein einzelner Dehnungsbolzen (13a) mit einem vorbestimmten dritten Radius (R3) konzentrisch angeordnet sind, wobei der dritte Radius (R3) kleiner als der zweite Radius (R2) ist und die temperaturabhängige Spalthöhe (h) einstellt.

10. Einspritzsystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine gerade Anzahl von Dehnungsbolzen (13a, 13b) in dem Kolben (7) integriert ist, wobei zumindest jeweils zwei Dehnungsbolzen (13a, 13b) äquidistant zur z-Achse (z) des Kolbens (7) angeordnet sind.

11. Einspritzsystem nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Kolben (7) eine sphärische oder zylindrische Oberfläche aufweist.

12. Einspritzsystem nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der hydraulische Kompensator (4) eine Rückstellfeder (15) zur Rückstellung des Kompensators (4) aufweist, welche den Zylinder (5) und den Kolben (7) mechanisch koppelt.

13. Einspritzsystem nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Piezo-Aktor (2) und/oder der Kompensator (4) in einem Hochdruckbereich (HD) des Einspritzsystems (1) angeordnet sind/ist.

14. Einspritzsystem nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Einspritzsystem (1) als ein Common-Rail-Einspritzsystem ausgebildet ist.

15. Einspritzsystem nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Fluid (10) der Kraftstoff (P) ist.

16. Verfahren zum Herstellen eines Einspritzsystems (1) zum Einspritzen von Kraftstoff (P) unter einem vorbestimmten Kraftstoffdruck nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche 1 bis 15 mit den Schritten:

a) Bereitstellen eines Piezo-Aktors (2) zum Heben und Senken einer Düsennadel (3a), welche eine Düse (3b) öffnet und schließt, in die der Kraftstoff (P) eingespritzt wird;

b) Koppeln des Piezo-Aktors (2) mit einem hydraulischen Kompensator (4), welcher einen Zylinder (5), dessen Innenwand (6) einen ersten Radius (R1) hat, und einen in den Zylinder (5) eingreifenden Kolben (7) aufweist, dessen Aussenwand (8) einen zweiten Radius (R2) hat, wobei zwischen dem Zylinder (5) und dem Kolben (7) ein Zwischenraum (9) ausgebildet ist, der mit einem Fluid (10) gefüllt ist, wobei der Zwischenraum (9) zum hydraulischen Ausgleich mit einem Ausgleichsvolumen über einen Strömungsspalt (11) gekoppelt ist, dessen Spalthöhe (h) höchstens die Differenz zwischen dem ersten Radius (R1) und dem zweiten Radius (R2) ist, und

c) Versehen des Kompensators (4) mit Mitteln (5; 7; 12; 13a; 13b), welche die Spalthöhe (h) temperaturabhängig im Betrieb derart anpassen, dass eine Änderung einer Dämpfung des Kompensators (4) in Folge einer temperaturabhängigen Viskositätsänderung des Fluids (10) im Wesentlichen kompensiert wird.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

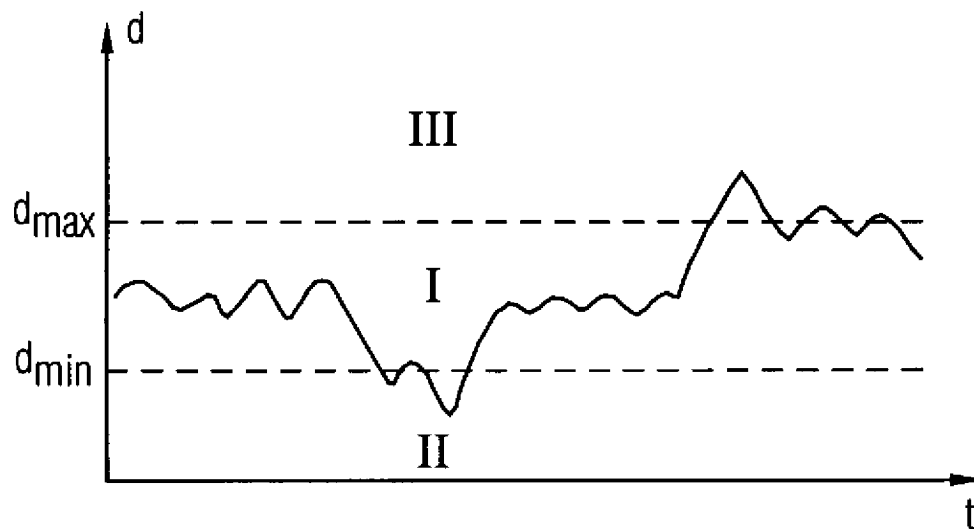


FIG 2

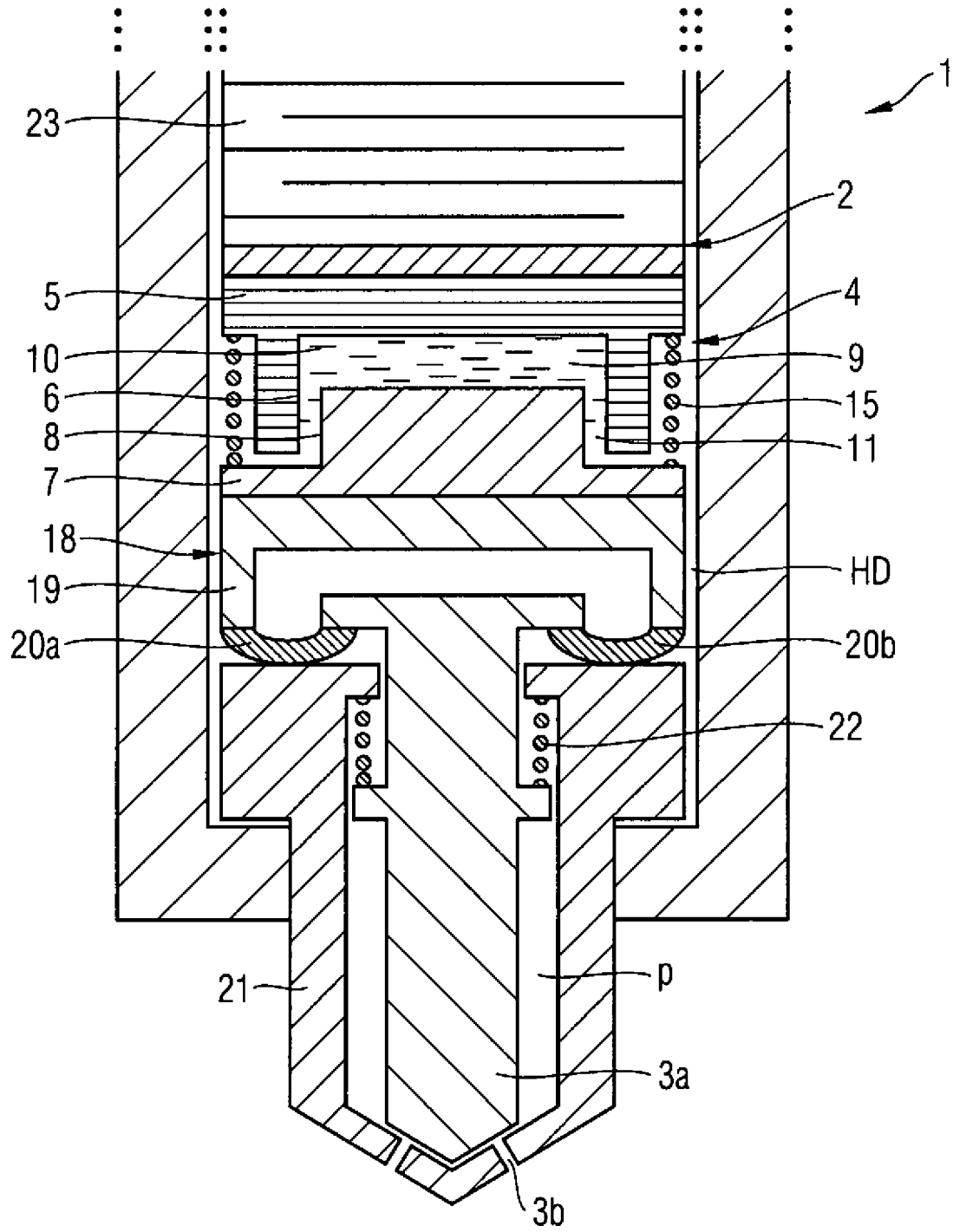


FIG 3

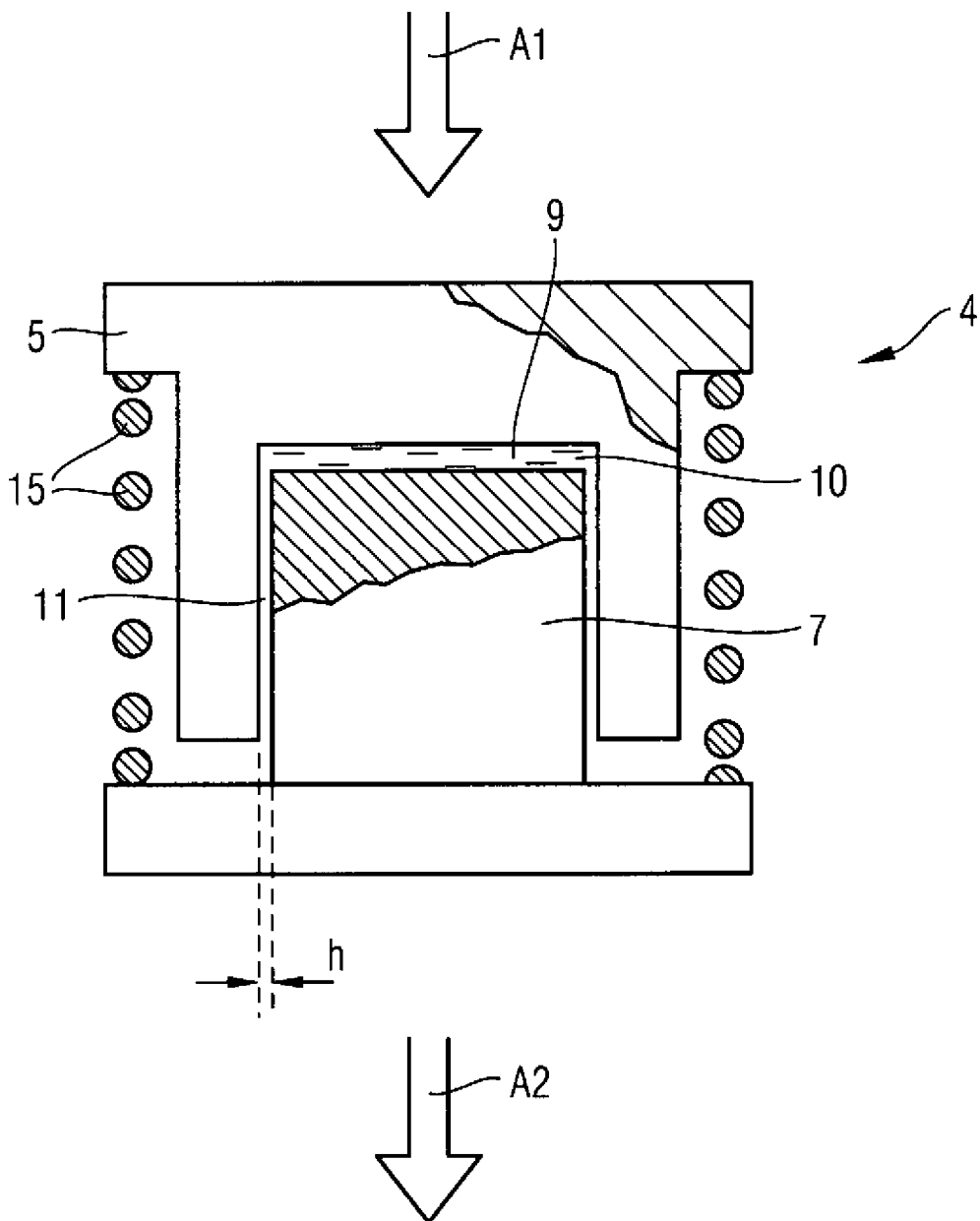


FIG 4

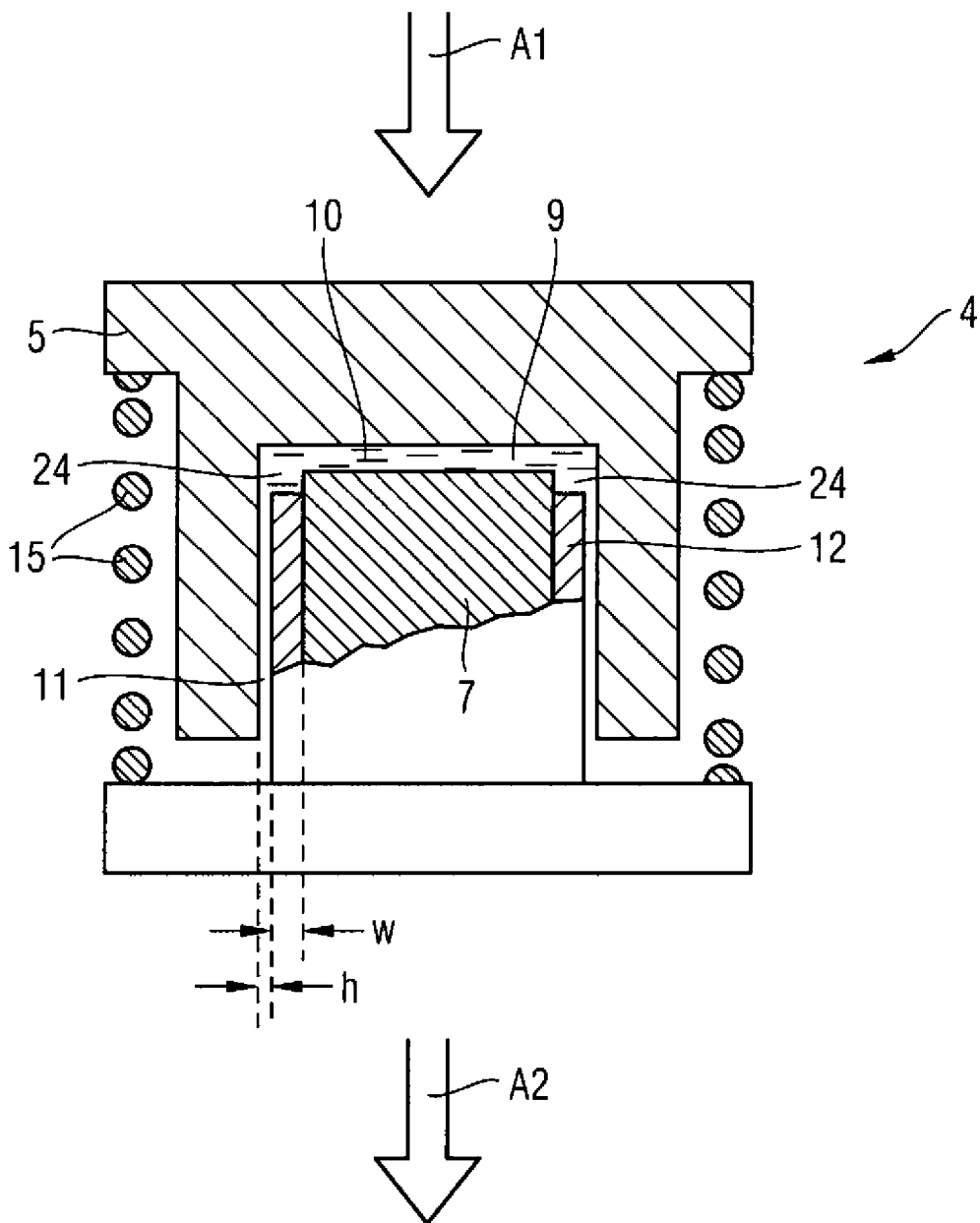


FIG 6

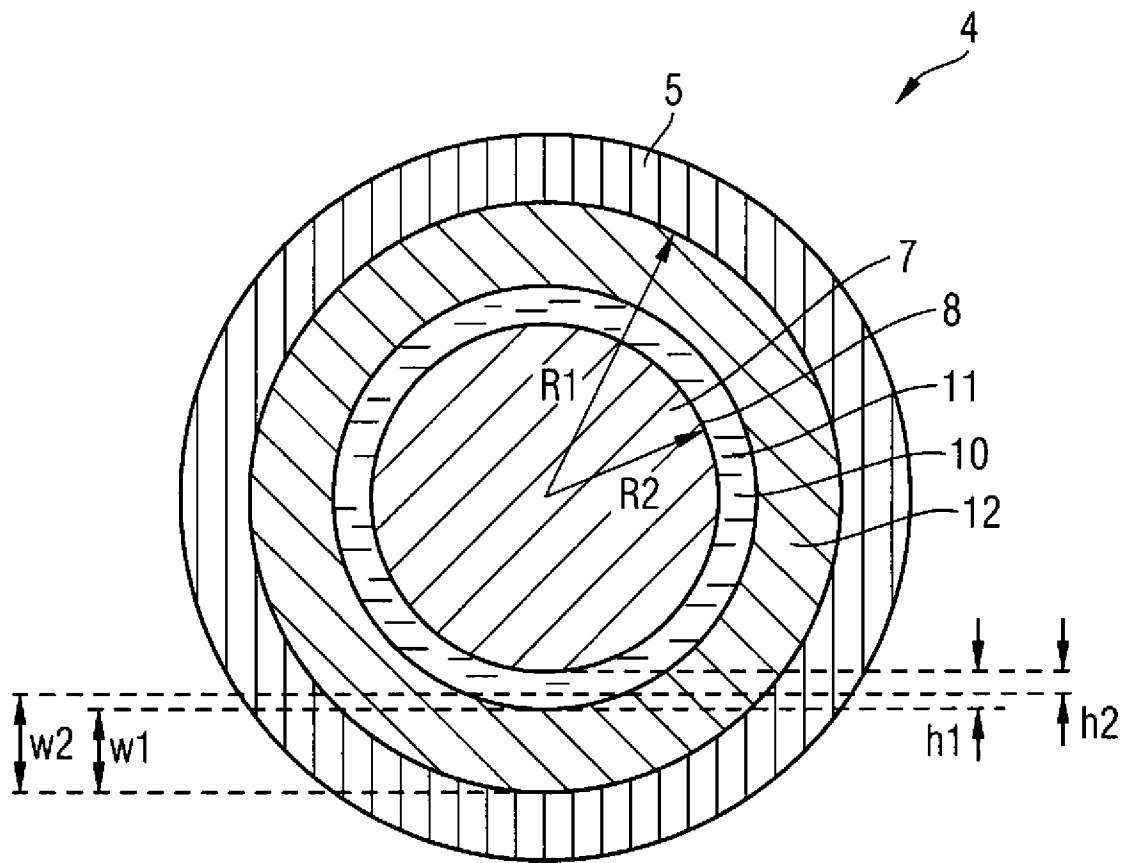


FIG 7

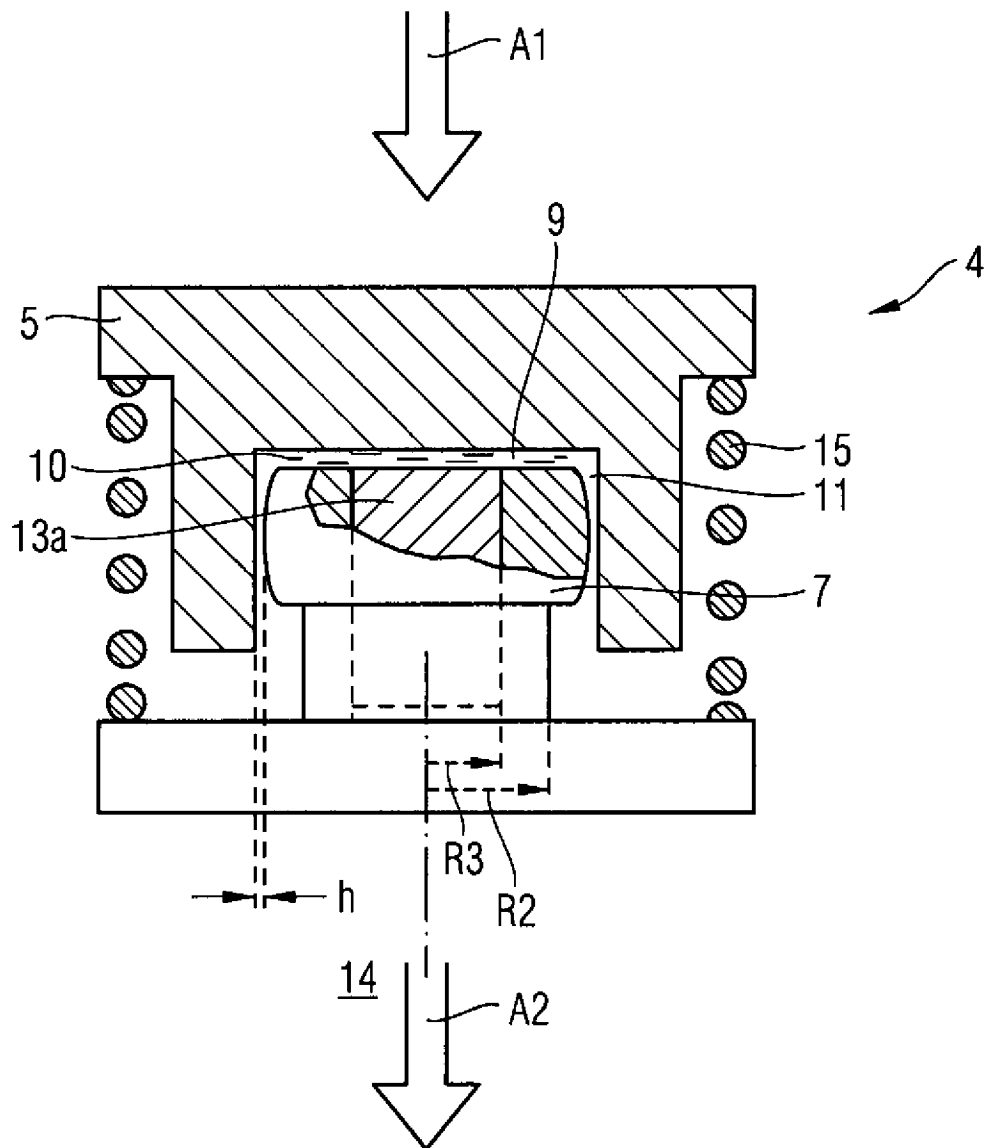


FIG 8

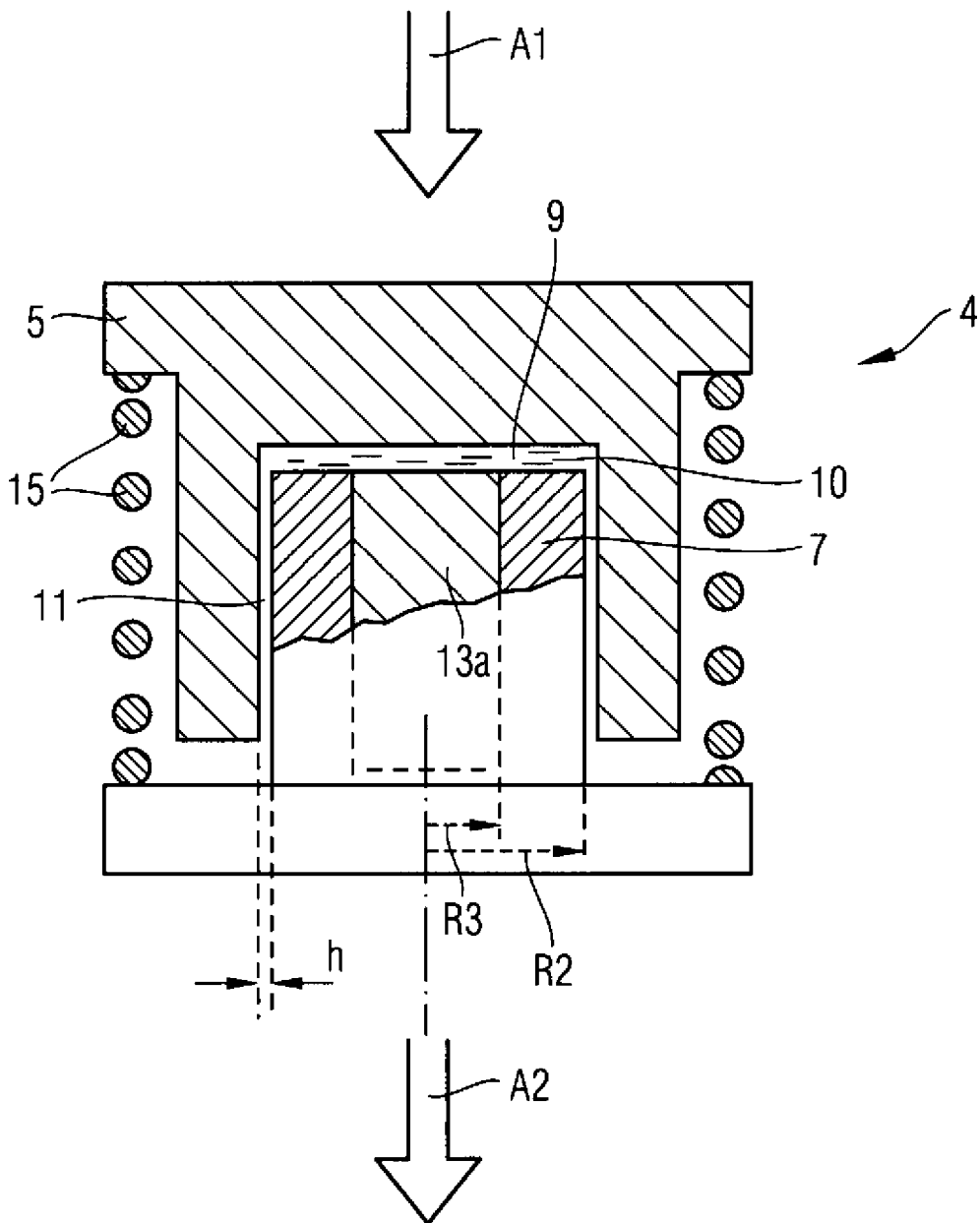


FIG 9

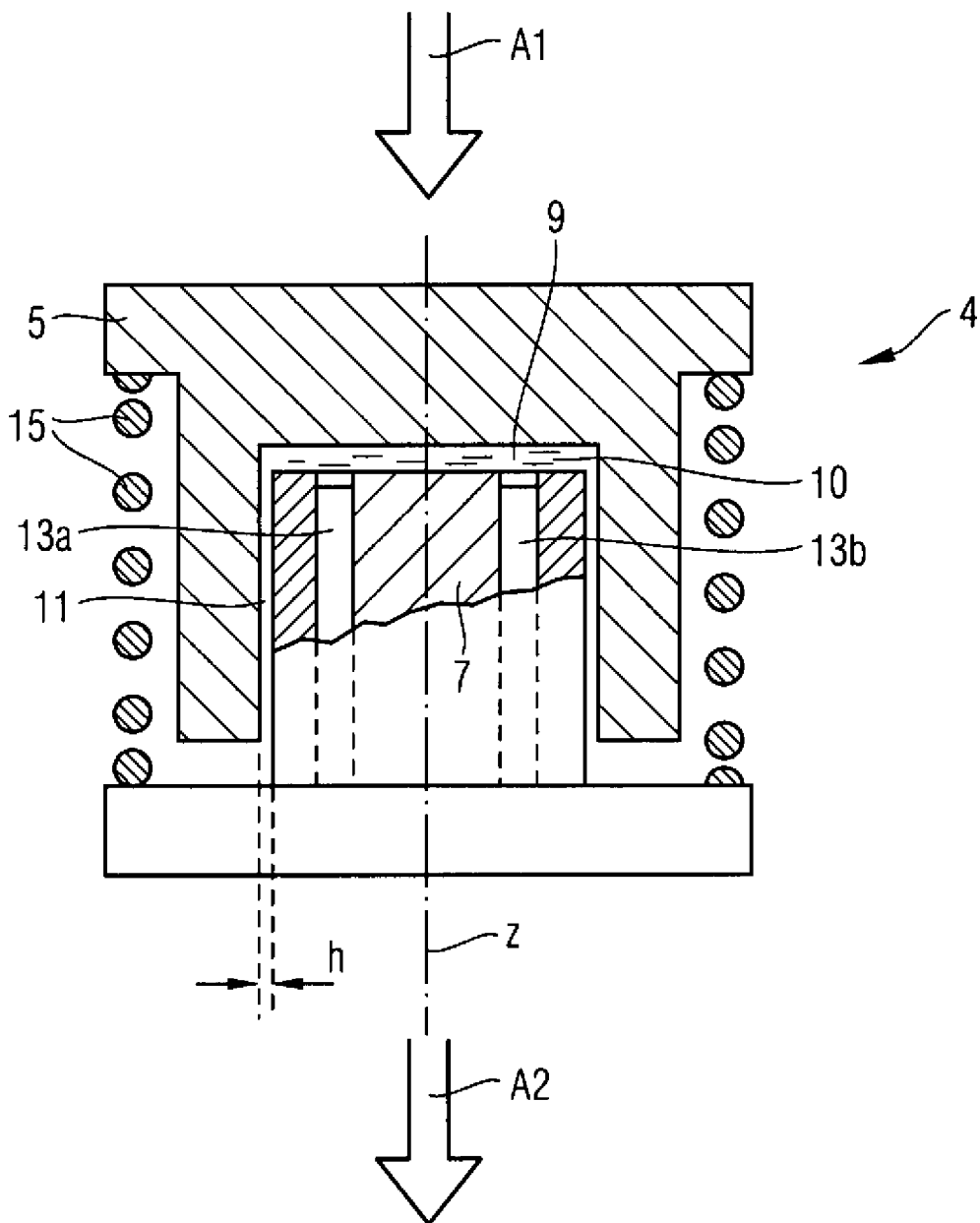


FIG 10

