

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

305 809

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01N 11/06 (2006.01)
G01N 11/08 (2006.01)
G01N 25/00 (2006.01)
G01L 9/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



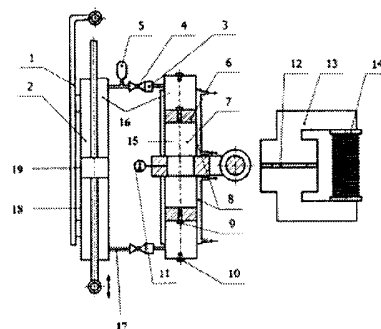
ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2014-802**
 (22) Přihlášeno: **19.11.2014**
 (40) Zveřejněno: **23.03.2016**
(Věstník č. 12/2016)
 (47) Uděleno: **10.02.2016**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **23.03.2016**
(Věstník č. 12/2016)

(56) Relevantní dokumenty:
 Mazůrek, I., et al: Meccanica (2013) 48, 631 - 641.

(73) Majitel patentu:
 Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:
 doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc., Brno - Ponava, CZ
 Ing. Jakub Roupec, Ph.D., Brno - Královo Pole, CZ
 Ing. Zbyněk Strecker, Ph.D., Jankovice, CZ



(54) Název vynálezu:
Obtokový reometr pro testování vlastností magnetoreologických kapalin a způsob analýzy dat

(57) Anotace:
 Obtokový reometr pro testování magnetoreologických kapalin sestává z hydraulického válce (18) s pístem (19) opatřeného na obou koncích vyústěním pístnice (2), naplněného hydraulickým olejem (16) a upnutého k testu automobilového tlumiče pomocí adaptéru (1) spojeného s hydraulickým válcem (18), přičemž hydraulický válec je spojen spojovacím potrubím (17) s přírubami reometrického válce (7). Spojovací potrubí (17) je opatřeno expanzní nádobkou (5) a ventily (4) se šroubením (3), kde reometrický válec (7) je opatřen dvěma plovoucími písty (6) s odvzdušňovacími šrouby (9), mezi nimiž je umístěna magnetoreologická kapalina (15) a magnetoreologická štěrbina (12) v plášti reometrického válce (7) spojená magnetickým obvodem (13) s cívkou (14). Tělo reometrického válce (7) je obklopeno chladicím prostorem (8) pro chladicí kapalinu a opatřeno teplotním čidlem (11). Plovoucí písty s odvzdušňovacími šrouby (9) oddělují hydraulický olej (16) od testované magnetoreologické kapaliny (15). Měřitelný rozsah smykového spádu u obtokového reometru podle vynálezu je od 10^3 s^{-1} do 10^6 s^{-1} . Vynález se týká také analýzy dat včetně matematického aparátu a statistického vyhodnocení naměřeného signálu.

CZ 305809 B6

Obtokový reometr pro testování vlastností magnetoreologických kapalin a způsob analýzy dat

5 Oblast techniky

Vynález se týká obtokového slit-flow reometru pro dlouhodobé testování vlastností magnetoreologických kapalin v reálných provozních podmínkách tlumicích zařízení včetně měření teploty a analýzy dat s možností použití pro trvanlivostní testy.

10

Dosavadní stav techniky

Základním komponentem magnetoreologických hydraulických tlumičů je speciální kapalina. Tato kapalina je označována jako magnetoreologická (MR) kapalina a skládá se ze tří základních složek: nosné kapaliny, ferromagnetických částic a aditivních přísad. Jako nosnou kapalinu lze použít vodu, olej nebo jinou kapalinu.

15

Základním zdrojem hodnocení chování magnetoreologických (MR) kapalin jsou tokové křivky (obr. 1) [1] a viskozitní křivky. Toková křivka vyjadřuje závislost smykového napětí τ na smykovém spádu γ' , viskozitní křivka vyjadřuje závislost viskozity η na smykovém spádu γ' . Protože pro praxi je nejdůležitější smykový spád od 10 po 10^5 s^{-1} , je užitečné měřit tokové křivky v tomto zkušebním režimu. Nejčastěji se toková křivka MR kapaliny nahrazuje binghamským modelem plastického materiálu.

20

Je-li toková křivka popisována pomocí Binghamského modelu, potom lze výsledné smykové napětí popsat pomocí rovnice (1) [2]:

$$\tau = \tau_y(H) + \eta \gamma' \quad \tau \geq \tau_y, \quad (1)$$

25

kde H je intenzita magnetického pole, γ' smykový spád kapaliny, η je viskozita v neaktivovaném stavu (tj. viskozita při $H = 0$), τ je celkové smykové napětí a τ_y je tzv. mez toku.

Při rutinním navrhování tlumicích prvků, zejména pro automobilový průmysl, je naprosto nezbytné kalkulovat s trvanlivostí projektované konstrukce. Kromě běžného pevnostně únavového pohledu je při využití tohoto fyzikálního jevu důležité zohlednit i specifickou problematiku degradace MR uzlu. Porovnáním změn tokových křivek v průběhu experimentu lze hodnotit vliv sledovaného parametru na životnost MR kapaliny.

30

Vzhledem k tomu, že je nezbytné sledovat chování MR kapaliny za podmínek, které odpovídají provozním podmínkám, tj. vysokým smykovým spádům a variabilním teplotám, je nutné zvolit odpovídající reometr. Jediný komerčně dostupný reometr schopný měřit v magnetickém poli nabízí firma Anton Paar GmbH [4]. Maximální možný měřitelný smykový spád tohoto reometru je 10^2 s^{-1} , což je o 3 až 4 řády méně než jsou reálné provozní podmínky v automobilovém tlumiči (10^5 až 10^6 s^{-1}). Ani koncepce reometru, který zhotovil výzkumný tým kolem Carlsona [3], není vhodná pro dlouhodobé testování.

35

40

Ve štěrbině MR tlumiče při běžné normativní zkoušce automobilových tlumičů se pohybuje hodnota smykového spádu od 10^3 do 10^6 s^{-1} . Při konstrukci MR zařízení je nutno počítat s jevem, kdy dochází k výraznému poklesu meze toku s rostoucí rychlostí toku. Z literatury [3] je známo, že k tomuto poklesu dochází při době průchodu Fe částice ventilem menší než 0,8 ms, v závislosti na intenzitě indukovaného magnetického pole. Komerčně dostupné reometry, jež umožňují měření v magnetickém poli, jsou schopny měřit pouze do hodnot smykového spádu 10^3 s^{-1} , což je z praktického pohledu nedostatečné. Nejkratší doba průtoku MR kapaliny magne-

45

tický aktivní oblastí ventilu reometru podle vynálezu je 0,34 ms, což je téměř dvakrát kratší doba, než při které dochází k významnému oslabení meze toku při daném magnetizačním proudu [3].

- 5 Pro splnění podmínek reálného provozu automobilového tlumiče odpružení nelze použít žádný komerčně dostupný reometr. Pro životnostní testy MR kapalin je navíc velmi výhodná taková konstrukce reometru, která umožní dlouhodobá nepřerušovaná měření.

Reference:

1. CHOI, J. S., et al. Preparation and magnetorheological characteristics of polymer coated carbonyl iron suspensions, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, September 2006, vol. 10 304, no. 2, s. 374–376
2. Lord Materials Division, Designing with MR Fluids, Engineering Note, November 1999
3. GONCALVES F. D., AHMADIAN, M., CARLSON, J. D. Investigating the magnetorheological effect at high flow velocities, Smart Materials and Structures, vol. 15, no. 1, s. 75–85
4. Rheometer, Refractometer, Viscometer, Polarimeter, Density Meter...; Anton Paar.com [online]. 2010 [cit. 2010–05–10]. Physica MCR Rheometer Series. Dostupné z WWW: 15 <http://www.anton-paar.com/001/en/60/47>
5. BOURGOYNE, A. T. Jr, et al. Applied Drilling Engineering, Society of Petroleum Engineers Textbook Series, Vol. 2, ISBN 1–55563–001–4, Richardson, Texas, 2003.
6. MAZUREK, I., ROUPEC, J. Pístový reometr pro testování vlastností magnetoreologických 20 kapalin a způsob analýzy dat, Patentový spis č. 304 085, UPV Praha, 2013

Podstata vynálezu

- 25 Nedostatek vhodného reometru splňující podmínky reálného provozu řeší konstrukce reometru podle vynálezu, která umožňuje dlouhodobé testování MR kapalin v podmínkách odpovídajících reálnému zatížení. Obtokový reometr vychází z principu průtokového reometru, kdy je měrná kapilára nahrazena štěrbinou v tělese reometrického válce a pro vyvolání tlakového spádu je potřebná síla, sloužící k překonání hydraulických ztrát, vznikajících při cyklickém stlačování a 30 tahování hydraulického válce.

- Předmětem vynálezu je obtokový reometr pro testování magnetoreologických kapalin, který se 35 stává z běžného hydraulického válce s pístem opatřeného na obou koncích vyústěním pístnice, naplněného hydraulickým olejem a upnutého do pulsátoru pomocí adaptéru spojeného s hydraulickým válcem. Válec je spojený spojovacím potrubím s přírubami reometrického válce, kde spojovací potrubí je opatřeno expanzní nádobkou a ventily se šroubením. Reometrický válec je opatřen dvěma plovoucími písty s odvzdušňovacími šrouby, mezi nimiž je umístěna magnetoreologická kapalina a magnetoreologická štěrbinu propojená magnetickým obvodem s cívkou. Tělo 40 reometrického válce je obklopeno prostorem pro chladicí kapalinu a opatřeno teplotním čidlem. Plovoucí písty reometrického válce s odvzdušňovacími šrouby oddělují hydraulický olej od testované MR kapaliny. Měřitelný rozsah smykového spádu u obtokového reometru podle vynálezu je od 10^3 s^{-1} do 10^6 s^{-1} .

- 45 Předmětem vynálezu je také způsob analýzy signálů tlumicí síly, polohy pístu, napětí a proudu v elektromagnetické cívkě naměřených obtokovým reometrem na jednotce testeru automobilových tlumičů (pulsátoru), kdy pomocí analytického řídicího programu se provedou následující kroky:

- a) numerická derivace signálu polohy pístu a získání signálu pístové rychlosti,
- b) numerická derivace signálu pístové rychlosti a získání signálu zrychlení pístu,
- 50 c) výběr bodů ze signálu tlumicí síly, při kterých je zrychlení pístu blízké nule a určení minimální hodnoty pístové rychlosti pro regresní analýzu,

- d) zjištění hodnoty nejmenší regresní síly, která přímo souvisí se šířkou jádra v proudící binghamské kapalině, podle průsečíku regresní přímky závislosti síly působící na píst na rychlosti pístu se svislou souřadnou osou,
- 5 e) přepočet hodnot vybraných bodů tlumicí síly pomocí reologických vztahů na hodnoty smykového napětí,
- f) přepočet hodnot vybraných bodů pístové rychlosti pomocí reologických vztahů na hodnoty smykového spádu,
- g) vytvoření grafu závislosti smykového napětí na příslušném smykovém spádu s použitím vybraných bodů v krocích e) a f) a získání tokové křivky testované kapaliny při dané teplotě a
- 10 intenzitě magnetického pole ve štěrbině,
- h) interaktivní přímková regresní analýza závislosti hodnot smykového napětí na smykovém spádu a
- i) zjištění meze toku podle průsečíku regresní přímky se svislou souřadnou osou a dynamické viskozity podle směrnice regresní přímky.
- 15

Dalším předmětem vynálezu je použití obtokového reometru jako zátěžné jednotky při zatěžování magnetoreologické kapaliny při sledování změn jejich vlastností při dlouhodobém provozu.

Pohyb pístu hydraulického válce vyvolá proudění MR kapaliny magnetickou štěrbinou v reometrickém válci. Intenzita magnetického pole v magnetickém obvodu a ve štěrbině je ovládána velikostí proudu v cívice. Při dekontaminaci po ukončení testu a novém plnění se z pulsátoru snímá po uzavření ventilů pomocí šroubení pouze reometrický válec. Po výměně se plnicími šrouby doplní hydraulický olej. Po odvzdušnění je možné otevřít ventily a celý systém natlakovat dusíkem na tlak 0,3 MPa. Stabilní teplota při testu je snímána teplotním čidlem a udržována na zvolené hladině pomocí kapaliny v chladicím prostoru. Vliv objemové roztažnosti celého hydraulického systému je kompenzován použitím expanzní nádoby.

20

25

Toto řešení umožňuje pomocí spojovacího potrubí pohybovat plovoucími písty v reometrickém válci beze změny vnitřního objemu celého reometru.

30

Základní technická data obtokového reometru při harmonickém pohybu jsou shrnuta v následující tabulce 1:

35 Tabulka 1

<i>Maximální frekvence pulzátoru</i>	<i>30 Hz</i>
<i>Max. zdvih pulzátoru</i>	<i>150 mm</i>
<i>Maximální rychlost pístu</i>	<i>7,8 m/s</i>
<i>Plocha štěrbin</i>	<i>37,5 mm²</i>
<i>Plocha pístu</i>	<i>876,0 mm²</i>
<i>Tloušťka štěrbin</i>	<i>0,75 mm</i>
<i>Délka štěrbin</i>	<i>15 mm</i>
<i>Max.intenzita magnetického pole</i>	<i>300 kA.m⁻¹</i>
<i>Max. pracovní teplota</i>	<i>120°C</i>

Pístová jednotka se instaluje na libovolný typ mechanického, elektrického či hydraulického testeru automobilových tlumičů (pulzátoru) při pístové rychlosti do 0,5 m/s. Reometr pulzátor cyklicky roztahuje a stlačuje a tím vzniká proudění ve štěrbině reometrického válce. Při testu se tenzometrickým siloměrem měří a zaznamenává signál síly na pístnici, signál polohy pístu se měří senzorem polohy. Signály se snímají vzorkovací frekvencí 500 Hz po dobu 20 až 80 s. Hodnoty

40

pístové rychlosti a zrychlení se získají numerickou derivací polohy. Problematickou a pro reometr nesmírně důležitou je potřeba snímat teplotu hodnocené kapaliny během zkoušky co nejbližší měřicí šterbiny.

- 5 Důležitým parametrem testu je intenzita magnetického pole ve šterbině, která je závislá na proudu v cívce. Závislosti intenzity magnetického pole na proudu se získají při kalibraci reometru.

Výhoda obtokového reometru podle vynálezu spočívá v dosažení vysokých smykových spádů v zatěžované vrstvě kapaliny (až 10^6 s^{-1} , zatímco běžné reometry do 10^2 s^{-1}), jednoduché instalaci
 10 na jakýkoliv mechanický nebo hydraulický tester automobilových tlumičů, snadné demontáži, dekontaminaci a nízkých pořizovacích a provozních nákladech. Průběžná pístnice hydraulického válce vyřešila problém se změnou vnitřního objemu při zanořování pístnice tlumiče. Tím je umožněno výrazné snížení vnitřního tlaku a tím zvýšení spolehlivosti. Zvýšení spolehlivosti systému přispívá rovněž jednoduchá konstrukce magnetického obvodu šterbiny pracující s cívkou
 15 uloženou vně olejové náplně umožňující též dosahovat vysokou intenzitu magnetického pole. Demontáž reometrického válce při dekontaminaci před novým plněním i sama dekontaminace je jednoduchá a rychlá.

Další výhodou je jeho schopnost pracovat v dlouhodobém režimu. Díky tomu je možné bez vypouštění podrobit kapalinu dlouhodobému zatěžovacímu testu. Působením tlumících sil při opakovaném roztahování a stlačování reometru (dochází k protlačování kapaliny šterbinou v reometrickém válci) se tato významně ohřívá a po delší době dochází k její degradaci a změnám jejich reologických parametrů. U běžných reometrů jsou pouze změřeny parametry kapaliny a potom musí být kapalina přenesena do zatěžovací jednotky, kde je dlouhodobě zatěžována,
 25 potom opět přenesena do reometru, změní se změřené parametry a tento postup se opakuje až do ukončení životnostního testu kapaliny. Při těchto přenosech dochází ke ztrátám drahé kapaliny a hrozí její kontaminace. U reometru podle vynálezu tyto přenosy odpadají, pouze dojde k přepnutí řídicího programu z režimu reometru do režimu běžného hydraulického tlumiče.

30 Zvláštní pozornost je věnována analýze dat včetně matematického aparátu a statistického vyhodnocení množiny naměřených bodů. Po změření globální charakteristiky pístové jednotky se pomocí analytického řídicího programu, který může být instalován na libovolném typu analyzátoru nebo PC s měřicí kartou, provede vyhodnocení naměřeného signálu, transformace rychlostní charakteristiky pístové jednotky do tokové a viskózní křivky, vyhodnocení parametrů tokové
 35 křivky testované kapaliny za použití regresní analýzy při dané teplotě a intenzitě magnetického pole ve šterbině a stanovení magnetické meze toku a dynamické viskozity. Tento postup je podrobně popsán v následujícím textu.

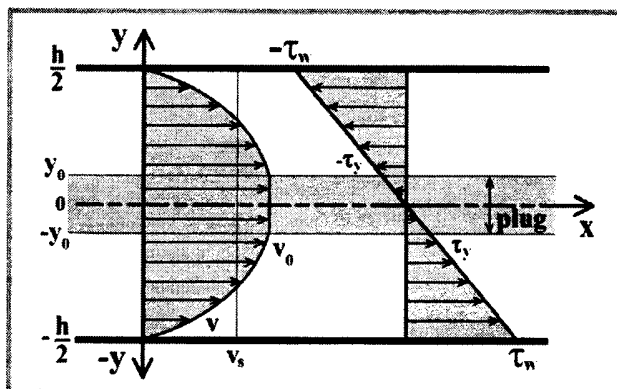
Teoretická východiska pro analýzu

40 Reometrická jednotka naplněná kapalinou se nainstaluje do testeru automobilových tlumičů, který reometr cyklicky roztahuje a stlačuje. Těmito pulzacemi je kapalina střídavě protlačována šterbinou a vzniká na něm střídavý tlakový spád a tím síla odporu měřitelná siloměrem v rámu testeru. Protože je snímána pouze síla na píst v závislosti na poloze pístu, je nezbytné připravit
 45 teoretický aparát pro odvození základních reologických veličin.

Tlakový rozdíl Δp způsobuje proudění šterbinou o tloušťce h , šířce b a délce l (obr. 3). Je vhodné zvolit souřadný systém tak, aby se rovina $y=0$ shodovala se střední rovinou mezery (rovina symetrie). Pak souřadnice stykových rovnoběžných rovin jsou $+h/2$ a $-h/2$. Z rovnováhy smykových a
 50 normálových sil působících na element kapaliny při ustáleném laminárním proudění $\delta p / \delta x = \delta \tau / \delta y$ lze odvodit:

$$\tau(y) = \frac{\Delta p}{l} y, \quad (2)$$

Protože ve středu vrstvy ($y = 0$) musí být $\tau(y)=0$ i v případě tuhého jádra, bude integrační konstanta nulová.



Obr. 3 Průtok binghamské kapaliny štěrbínou

Hlavním rysem, který odlišuje proudění binghamské tekutiny od newtonské tekutiny je existence regionu jádra, ve kterém je smykové napětí menší než mez toku. Proudění štěrbínou začne až po překonání meze toku τ_y . Hodnotu y_0 vypočteme z rovnice (2) pro $\tau(y_0)=-\tau_y$:

$$y_0 = -\tau_y \frac{l}{\Delta p} \quad (3)$$

Binghamský model má v souřadném systému obr. 3 zápis:

$$\begin{aligned} \tau(y) &= \eta \cdot \gamma'(y) - \tau_y & \text{pro } \gamma'(y) < 0 & & \text{odpovídá } y > y_0, \\ \tau_y > \tau(y) > -\tau_y & & \text{pro } \gamma'(y) = 0 & & \text{odpovídá } y_0 \geq y \geq -y_0, \\ \tau(y) &= \eta \cdot \gamma'(y) + \tau_y & \text{pro } \gamma'(y) > 0 & & \text{odpovídá } y < -y_0, \end{aligned} \quad (4)$$

kde $\gamma'(y)=dv/dy$ je smykový spád a binghamská viskozita η je konstanta, stejně jako dynamická viskozita u newtonské kapaliny. Z rovnic (2) a (4) dostaneme:

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dy} &= \frac{\Delta p}{\eta l} y + \frac{\tau_y}{\eta}, & \text{pro } y > y_0, \\ \frac{dv}{dy} &= \frac{\Delta p}{\eta l} y - \frac{\tau_y}{\eta}, & \text{pro } y < -y_0. \end{aligned} \quad (5)$$

Po integraci a úpravě podle, dostaneme výraz pro rychlost proudění. Integrační konstanta byla vypočtena z okrajové podmínky $v(\pm h/2)=0$.

$$\begin{aligned} v(y) &= \frac{-\Delta p}{2\eta l} \left[\left(\frac{h}{2} \right)^2 - y^2 - 2y_0 \left(\frac{h}{2} - |y| \right) \right] & \text{pro } |y| > y_0, \\ v(y) &= v_0 & \text{pro } -y_0 \leq y \leq y_0 \end{aligned} \quad (6)$$

Rychlost regionu jádra musí být také dána rovnicí (6) vyhodnocenou pro $y=y_0$. Takže, pro rychlost jádra platí:

$$v_0 = \frac{-\Delta p}{2\eta l} \left(\frac{h}{2} - y_0 \right)^2 \quad (7)$$

Pro objemový průtok Q platí rovnice:

$$Q = \int_{-h/2}^{-y_0} v(y) \cdot b \cdot dy + \int_{-y_0}^{y_0} v_0 \cdot b \cdot dy + \int_{y_0}^{h/2} v(y) \cdot b \cdot dy \text{ a také } Q = h \cdot b \cdot v_s, \quad (8)$$

kde v_s je střední hodnota rychlostního profilu. Potom po integraci:

$$v_s = \frac{-\Delta p \cdot h^2}{12\eta l} \left(1 - 3 \frac{y_0}{h} + 4 \left(\frac{y_0}{h} \right)^3 \right). \quad (9)$$

Pro výpočet smykového napětí τ_w ve styku maziva se stěnou štěrbiny platí:

$$\tau_w = \frac{F}{S_t} = \frac{-\Delta p \cdot b \cdot h}{2bl} = \frac{-\Delta p \cdot h}{2l}, \quad (10)$$

kde F je síla protlačující olej štěrbinou a S_t je součet kontaktních ploch. Smykový spád od hranice s jádrem (kde je nulový) směrem ke stěně lineárně narůstá. V okrajové vrstvě protékajícího maziva ($y = -h/2$) dosahuje smykový spád maximální hodnoty. Z rovnic (5), (3) a (9) vyplývá:

$$\gamma' \left(-\frac{h}{2} \right) = \frac{\Delta p}{\eta l} \left(-\frac{h}{2} \right) - \frac{\tau_y}{\eta} = \frac{-\Delta p}{\eta l} \left(\frac{h}{2} - y_0 \right) = \frac{6v_s \cdot h \cdot (h - 2y_0)}{h^3 - 3h^2 y_0 + 4y_0^3} \quad (11)$$

Způsob zpracování a vyhodnocení naměřených signálů tlumicí síly a polohy pístu

Při každém rozběhovém testu reometrické jednotky se získá množina bodů Fv diagramu (v_x , F_x) v různých zátěžných stavech. Je to velký počet bodů s velkým rozptylem, způsobeným různými provozními podmínkami mechanismu v průběhu cyklu (obr. 4a). Z těchto bodů jsou následně vybrány jen ty, kdy je zrychlení pístu blízké nule (obr. 4b). Tento výběr odstraní vliv pružnosti plynové náplně a setrvačných sil na hysterezní charakter rozložení bodů.

Ani tuto množinu bodů nelze přímo zpracovat regresní analýzou, protože při práci mechanismu nejsou zastoupeny body na různých pístových rychlostech s vyrovnanou četností. Rozsah rychlostí je proto rozdělen na sto úseků a v každém stanovena lokální střední hodnota síly (obr. 6a).

V této fázi je interaktivním procesem určena minimální hodnota pístové rychlosti pro regresní analýzu. Množinou bodů nad touto hodnotou je proložena regresní křivka a její průsečík se svislou osou stanovuje sílu F_0 (viz obr. 6a), po jejímž překonání začne kapalina téci. Šířka jádra se v průběhu pulzování reometru mění v závislosti na síle na píst F_p :

$$y_0(F_p) = \frac{2 \cdot \tau_y \cdot l}{\Delta p} = \frac{h \cdot F_0}{2 \cdot |F_p|} \quad \text{pro } |F_p| > F_0 \quad (12)$$

Nyní je možné při znalosti geometrie štěrbiny přejít k přepočtu F–v diagramu na tokovou křivku. Střední rychlost proudění ve štěrbině v_s lze spočítat z rovnice kontinuity a okamžité rychlosti pístu v_p :

$$v_s(v_p) = v_p \cdot \frac{S_p}{S_s} = v_p \cdot \frac{S_p}{2\pi \cdot r \cdot h}, \quad (13)$$

kde S_p je činná plocha pístu a S_s je plocha štěrbin. Sílu F_p lze za těchto předpokladů transformovat na celkové smykové napětí na okraji štěrbin τ_w a rychlost pístu v_p na smykový spád γ'_w na okraji štěrbin při použití vztahů:

$$\tau_w = \frac{|\Delta p| \cdot h}{4l} = \frac{h}{4l \cdot S_p} |F_p| \quad (14)$$

$$\gamma'_w = \frac{6v_s \cdot h \cdot (h - 2y_0(F_p))}{h^3 - 3h^2 y_0(F_p) + 4y_0^3(F_p)} = \frac{6S_p |v_p|}{\pi \cdot r \cdot h^2 \left(2 - |F_0 / F_p| - |F_0 / F_p|^2 \right)} \quad \text{pro } |F_p| > F_0 \quad (15)$$

Při znalosti těchto veličin lze vykreslit závislost smykového napětí v kapalině na smykovém spádu (toková křivka) testované kapaliny při dané teplotě a intenzitě magnetického pole ve štěrbině (obr. 6b). Regresní analýzou této tokové křivky určíme výslednou dynamickou viskozitu η a mez toku τ_y testované MR kapaliny.

V matematickém aparátu podle vynálezu je přihlédnuto k Binghamskému charakteru tokových charakteristik testovaných magnetoreologických kapalin. Binghamské kapaliny vykazují v tekoucím proudu vrstvu (tzv. jádro), která je proudem pouze unášena. Použité vztahy přinášejí vysokou přesnost přepočtu naměřené F - v charakteristiky na tokovou křivku.

20 Objasnění výkresů

Obr. 1: Toková křivka magnetoreologické kapaliny

Obr. 2: Funkční schéma reometru

Obr. 3: Průtok binghamské kapaliny štěrbinou

Obr. 4: Zjednodušené schéma magnetického obvodu

25 Obr. 5a: Naměřená množina bodů

Obr. 5b: Vybrané body síly s nulovým zrychlením pístnice

Obr. 6a: Množina bodů s vyrovnanou četností

Obr. 6b: Binghamský model MR kapaliny

30 Obr. 7: Výsledek analýzy MR kapaliny s magnetickou mezí toku 34 kPa a dynamickou viskozitou 0,2 Pas

Následuje příklad provedení podle vynálezu, který však není omezující v rozsahu patentových nároků.

35

Příklad uskutečnění vynálezu

Příklad 1

40

Testování magnetoreologické kapaliny Lord 140CG pomocí obtokového reometru

K testování se použil obtokový reometr podle vynálezu (obr. 2) s měřitelným rozsahem smykového spádu 10^3 s^{-1} až 10^6 s^{-1} . Konstrukce reometru sestávala z běžného hydraulického válce 18 s pístem 19 opatřeného na obou koncích vyústěním pístnice 2, naplněným hydraulickým olejem 16 a upnutým k pulsátoru pomocí adaptéru 1 spojeného s hydraulickým válcem 18, přičemž hydraulický válec je spojen spojovacím potrubím 17 s přírubami reometrického válce 7. Spojovací potrubí 17 bylo opatřeno expanzní nádobkou 5 a ventily 4 se šroubením 3. Reometrický válec 7 byl opatřen dvěma plovoucími písty 6 s odvzdušňovacími šrouby 9, mezi nimiž byla umístěna magnetoreologická kapalina 15 a magnetoreologická štěrbinou 12 spojená magnetickým obvodem 13 s cívkou 14. Tělo reometrického válce 7 bylo obklopeno prostorem 8 pro chladicí kapalinu a opatřeno teplotním čidlem 11. Plovoucí písty 6 s odvzdušňovacími šrouby 9 oddělovaly hydraulický olej 16 od testované MR kapaliny 15.

Hydraulický válec 18 obtokového reometru naplněný kapalinou 15 se upnul pomocí adaptéru 1 k testeru automobilových tlumičů (pulzátoru), který reometr cyklicky roztahoval a stlačoval. Těmito pulzacemi byla kapalina 15 střídavě protlačována magnetickou štěrbinou 12 v těle reometrického válce 7 a vznikala na něm pulzující tlakový spád a tím tlumicí síla měřitelná siloměrem na úchyty reometru v rámu pulzátoru.

Pohyb pístu hydraulického válce 18 vyvolal proudění MR kapaliny magnetickou štěrbinou 12 z reometrického válce 7. Intenzita magnetického pole v magnetickém obvodu 13 a ve štěrbině 12 je ovládána velikostí proudu v cívkě 14. Při dekontaminaci po ukončení testu a novém plnění se z pulsátoru odstranil po uzavření ventilů 4 pomocí šroubení 3 pouze reometrický válec 7. Po výměně se plnicími šrouby 10 doplnil hydraulický olej 16. Stabilní teplota při testu je snímána teplotním čidlem 11 a udržována na zvolené hladině pomocí kapaliny v chladicím prostoru 8. Vliv objemové roztažnosti celého hydraulického systému byl kompenzován použitím expanzní nádobky 5. Technické provedení obtokového reometru umožňovalo pomocí potrubí 17 pohybovat plovoucími písty 6 v reometrickém válci 7 beze změny vnitřního objemu celého reometru.

Měření se provádělo v rozběhovém režimu, aby byly zaznamenány síly při co největším rozsahu pístových rychlostí. Tenzometrickým siloměrem se měřil a zaznamenával signál síly na pístnici 2 a lineárním senzorem se měřil signál polohy pístu 19. Dalšími dvěma snímanými signály byly proud a napětí na elektromagnetickém vinutí cívkou 14 pístu. Ze signálu proudu elektromagnetického vinutí cívkou 14 se pomocí kalibrační křivky stanovil průběh intenzity magnetického pole ve štěrbině 12 pístu. Magnetického pole o požadované intenzitě se docílilo stabilizovaným proudem protékajícím elektromagnetickým vinutím cívkou 14. Signály se snímaly vzorkovací frekvencí 500 Hz po dobu 80 s. Hodnoty pístové rychlosti a zrychlení se získaly numerickou derivací polohy pístu 19. Teplota ve štěrbině se měřila teplotním čidlem 11 v tělese reometrického válce 7.

V řídicím a analytickém programu MultiViscoMRL instalovaném na PC s měřicí kartou se statisticky vyhodnotila množina naměřených hodnot. Získal se velký počet bodů s velkým rozptylem, způsobeným různými provozními podmínkami mechanismu v průběhu cyklu. Z těchto bodů se následně vybraly jen ty, kdy je zrychlení pístu blízké nule. Rozsah rychlostí se rozdělil na sto úseků a v každém stanovena lokální střední hodnota síly. Provedla se analýza signálů tlumicí síly, polohy pístu 19, napětí a proudu v elektromagnetické cívkě 14 naměřených obtokovým reometrem na jednotce testeru automobilových tlumičů, kdy se pomocí analytického řídicího programu provedla numerická derivace signálu polohy pístu 19, a získal se signál pístové rychlosti, poté se provedla numerická derivace signálu pístové rychlosti a získal se signál zrychlení pístu, vybraly se body ze signálu tlumicí síly, při kterých bylo zrychlení pístu blízké nule, a určila se minimální hodnota pístové rychlosti pro regresní analýzu. Podle průsečíku regresní přímky závislosti síly působící na píst na rychlosti pístu se svislou souřadnou osou se zjistila hodnota nejmenší regresní síly, která přímo souvisí se šířkou jádra v proudící binghamské kapalině. Hodnoty vybraných bodů tlumicí síly se pomocí reologických vztahů přepočítaly na hodnoty smykového napětí a hodnoty vybraných bodů pístové rychlosti se pomocí reologických vztahů přepočítaly na hodnoty smykového spádu. Vytvořil se graf závislosti smykového napětí na příslušném smykovém spádu s použitím vybraných bodů, jak je uvedeno výše, a získala se toková křivka testované kapaliny

při dané teplotě a intenzitě magnetického pole ve štěrbině. Následně se provedla interaktivní přímková regresní analýza závislosti hodnot smykového napětí na smykovém spádu, podle průsečíku regresní přímky se svislou souřadnou osou se zjistila mez toku τ_y a podle směrnice regresní přímky se určila dynamická viskozita η jako hledané parametry kapaliny.

5

Výstupní obrazovka analýzy této MR kapaliny s magnetickou mezí toku $\tau_y(H)$ 33 kPa a dynamickou viskozitou 0,28 Pas je uvedena na obr. 7.

10 Průmyslová využitelnost

Obtokový reometr podle vynálezu umožňuje dlouhodobé testování magnetoreologických kapalin v reálných provozních podmínkách tlumicích zařízení, při smykových spádech 10^3 s^{-1} do 10^6 s^{-1} a přesné měření magnetoreologických vlastností kapalin. Výhodou je jednoduchá konstrukce se snadnou vyměnitelností jednotlivých komponentů, jednoduchá instalace na jakýkoliv mechanický nebo hydraulický tester automobilových tlumičů, snadná demontáž, dekontaminace a nízké pořizovací a provozní náklady. Otokový reometr je využitelný i jako zátěžná jednotka při dlouhodobém testování magnetoreologických kapalin.

15

20

Vynález poskytuje také způsob analýzy naměřených dat včetně matematického aparátu a statistického vyhodnocení veličin testované magnetoreologické kapaliny.

25

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Pístový reometr pro testování magnetoreologických kapalin, **vyznačující se tím**, že sestává z hydraulického válce (18) s pístem (19) opatřeného na obou koncích vyústěním pístnice (2), naplněného hydraulickým olejem (16) a upnutého k testeru automobilového tlumiče pomocí adaptéru (1) spojeného s hydraulickým válcem (18), přičemž válec (18) je spojený spojovacím potrubím s přírubami reometrického válce (7), kde spojovací potrubí je opatřeno expanzní nádobkou (5) a ventily (4) se šroubením (3), kde reometrický válec (7) je opatřen dvěma plovoucími písty (6) s odvzdušňovacími šrouby (9), mezi nimiž je umístěna magnetoreologická kapalina (15) a magnetoreologická štěrbina (12) propojená magnetickým obvodem (13) s cívkou (14), přičemž plovoucí písty (6) s odvzdušňovacími šrouby oddělují hydraulický olej (16) od testované magnetoreologické kapaliny (15) a tělo reometrického válce (7) je obklopeno prostorem (8) pro chladič kapalinu, přičemž měřitelný rozsah smykového spádu obtokového reometru je od 10^3 s^{-1} do 10^6 s^{-1} .

40

2. Způsob analýzy signálů tlumicí síly, polohy pístu, napětí a proudu v elektromagnetické cívce naměřených obtokovým reometrem podle nároku 1 na jednotce testeru automobilového tlumiče, **vyznačující se tím**, že pomocí analytického řídicího programu se provedou následující kroky:

45

- a) numerická derivace signálu polohy pístu a získání signálu pístové rychlosti
- b) numerická derivace signálu pístové rychlosti a získání signálu zrychlení pístu
- c) výběr bodů ze signálu tlumicí síly, při kterých je zrychlení pístu blízké nule a určení minimální hodnoty pístové rychlosti pro regresní analýzu
- d) zjištění hodnoty nejmenší regresní síly, podle průsečíku regresní přímky závislosti síly působící na píst na rychlosti pístu se svislou souřadnou osou
- e) přepoččet hodnot vybraných bodů tlumicí síly pomocí reologických vztahů na hodnoty smykového napětí

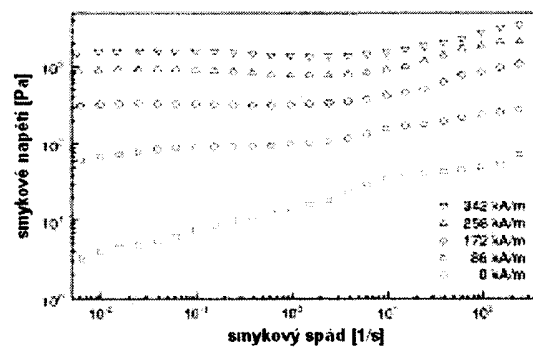
50

- f) přepočet hodnot vybraných bodů pístové rychlosti pomocí reologických vztahů na hodnoty smykového spádu
- g) vytvoření grafu závislosti smykového napětí na příslušném smykovém spádu s použitím vybraných bodů v krocích e) a f) a získání tokové křivky testované kapaliny při dané teplotě a intenzitě magnetického pole ve štěrbině
- h) interaktivní přímková regresní analýza závislosti hodnot smykového napětí na smykovém spádu
- i) zjištění meze toku podle průsečíku regresní přímky se svislou souřadnou osou a dynamické viskozity podle směrnice regresní přímky.
- 3. Použití obtokového reometru podle nároku 1 jako zátěžné jednotky při zatěžování magneto-reologické kapaliny při sledování změn jejich vlastností při dlouhodobém provozu.**

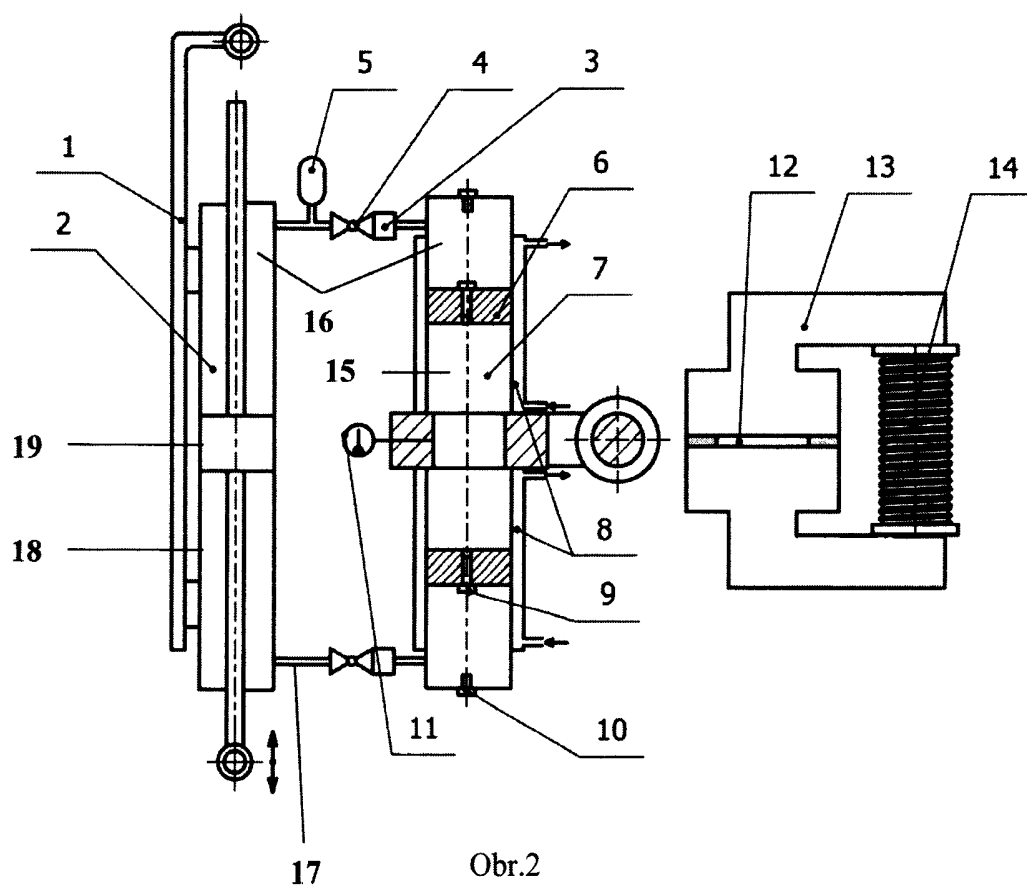
3 výkresy

20 Seznam vztahových značek:

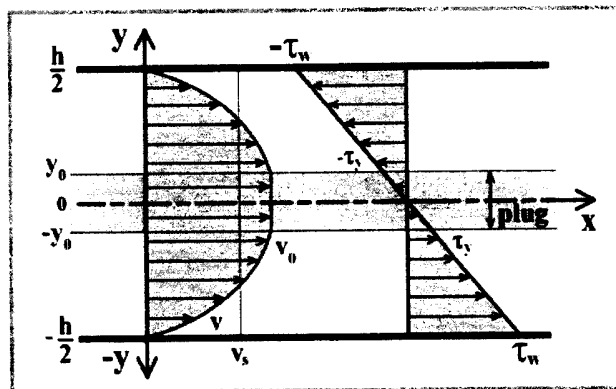
- 1 – adaptér
- 2 – pístnice
- 3 – šroubení
- 4 – ventil
- 5 – expanzní nádobka
- 6 – plovoucí písty
- 7 – reometrický válec
- 8 – chladič prostor
- 9 – odvězdušňovací šrouby
- 10 – plnicí šrouby
- 11 – teplotní čidlo
- 12 – magnetická štěrba
- 13 – magnetický obvod
- 14 – cívka
- 15 – magnetoreologická kapalina
- 16 – hydraulická kapalina
- 17 – spojovací potrubí
- 18 – hydraulický válec
- 19 – píst hydraulického válce



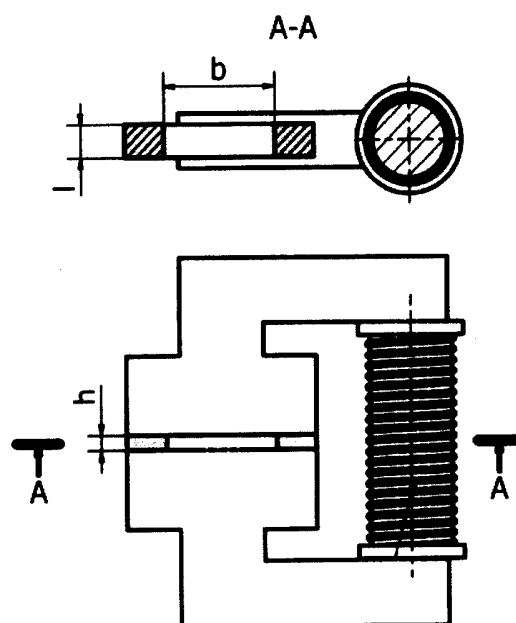
Obr.1



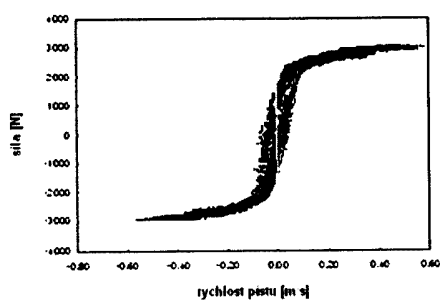
Obr.2



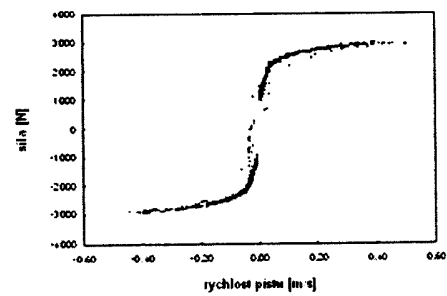
Obr.3



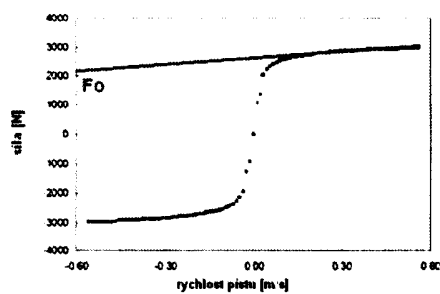
Obr.4



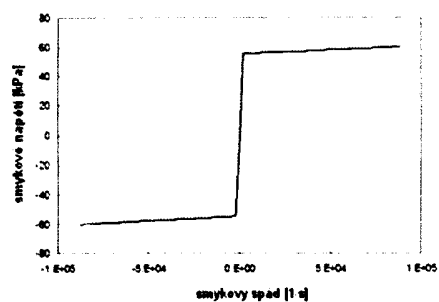
Obr.5a



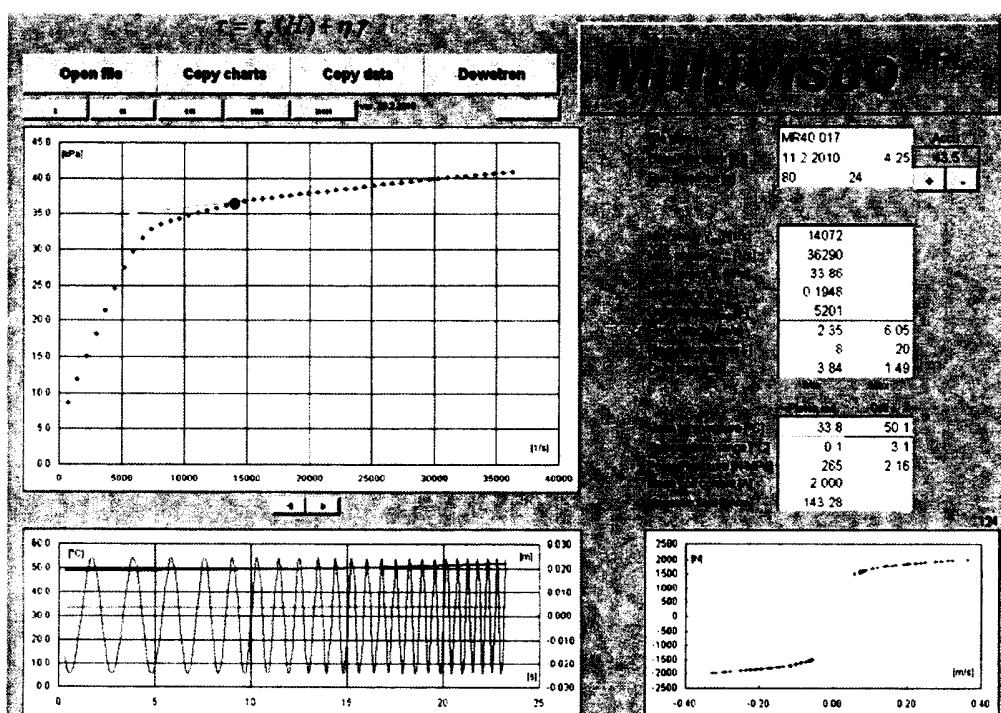
Obr.5b



Obr.6a



Obr.6b



Obr.7

Konec dokumentu