

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2010-936

(13) Druh dokumentu: **A3**

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **15.12.2010**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **27.06.2012**
(Věstník č. 26/2012)

(51) Int. Cl.:

G01N 11/06 (2006.01)

G01N 11/08 (2006.01)

G01N 33/44 (2006.01)

G01L 9/00 (2006.01)

G01N 25/00 (2006.01)

(71) Přihlašovatel:

Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:

Mazůrek Ivan Doc. Ing. CSc., Brno, CZ

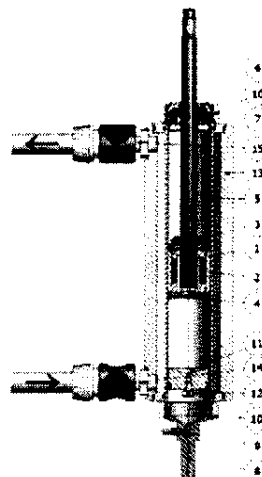
Roupec Jakub Ing., Znojmo, CZ

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Pístový reometr pro testování
magnetoreologických kapalin a způsob
analýzy dat**

(57) Anotace:

Pístový reometr pro testování magnetoreologických kapalin sestává z kompletního pístu automobilového tlumiče (1) s elektromagnetickým vinutím (2) a pryžovým dorazem (3). Píst automobilového tlumiče (1) je upraven zaslepením obtokového otvoru v jeho dnu ucpávkou (4) a je uložen uvnitř válce (5), který obsahuje plovoucí píst (11) s odvzdušňovacím šroubem (12). Válec (5) je pokryt pláštěm (13) s vtokovým šroubením (14) a výtokovým šroubením (15), přičemž je válec (5) ukončen horním víkem (6) s těsněním (7) a dolním víkem (8) s ventilem (9). Horní víko (6) i dolní víko (8) je připevněno k válci (5) pomocí převlečených matic (10, 10'). Měřitelný rozsah smykového spádu u pístového reometru podle vynálezu je od 10^3 do 10^6 s^{-1} . Vynález se týká také analýzy dat včetně matematického aparátu a statistického vyhodnocení naměřeného signálu.



Pístový reometr pro testování magnetoreologických kapalin a způsob analýzy dat

Oblast techniky

Vynález se týká pístového slit-flow reometru pro dlouhodobé testování chování magnetoreologických kapalin v reálných provozních podmínkách tlumících zařízení včetně analýzy dat s možností použití pro trvanlivostní testy.

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.

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.

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

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

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 kluzu.

Při rutinním navrhování tlumících 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.

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 3-4 řády méně než jsou reálné provozní podmínky v automobilovém tlumiči (10^5 - 10^6 s^{-1}). Koncepce reometru, který zhotovil výzkumný tým kolem Carlsona [3], není zase vhodná pro dlouhodobé testování.

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

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

Podstata vynálezu

Nedostatek vhodného reometru splňující podmínky reálného provozu řeší konstrukce reometru podle vynálezu, která umožňuje dlouhodobé testování MR kapalin v podmínkách odpovídajících reálnému zatížení. Konstrukce pístového reometru vychází z automobilového MR tlumiče a lze ji instalovat do libovolného pulzátoru.

Předmětem vynálezu je pístový reometr pro testování magnetoreologických kapalin, který sestává z kompletního pístu automobilového tlumiče 1 s elektromagnetickým vinutím 2 a pryžovým dorazem 3. Píst automobilového tlumiče 1 je upraven zaslepením obtokového otvoru v jeho dnu ucpávkou 4 a je uložen uvnitř válce 5, který obsahuje plovoucí píst 11 s odvzdušňovacím šroubem 12. Válec 5 je pokryt plastovým pláštěm 13 s vtokovým šroubením a 14 a výtokovým šroubením 15, přičemž je válec 5 ukončen horním víkem 6 s těsněním 7 a dolním víkem 8 s ventilem 9. Horní víko 6 i dolní víko 8 je připevněno k válci 5 pomocí převlečených matic

$10,10^4$. Měřitelný rozsah smykového spádu u pístového reometru podle vynálezu je od 10^3 do 10^6 s^{-1} .

Na obrázku 2 je řez reometrickou pístovou jednotkou. Testovaná olejová náplň uvnitř válce 5 je od plynové náplně oddělena plovoucím pístem 11 s odvzdušňovacím šroubem 12. Účinné chlazení je zajištěno vodní náplní mezi válcem 5 a plastovým pláštěm 13. Reometr je tlakován dusíkem na tlak 3 MPa. Základní technická data pístového reometru při harmonickém pohybu jsou shrnuta v následující tabulce 1:

Tabulka 1

<i>Maximální frekvence pulzátoru</i>	<i>30 Hz</i>
<i>Zdvih pulzátoru</i>	<i>50 mm</i>
<i>Maximální rychlost pístu</i>	<i>7,8 m/s</i>
<i>Plocha štěrbin</i>	<i>67,7 mm²</i>
<i>Plocha pístu</i>	<i>944,5 mm²</i>
<i>Tloušťka štěrbin</i>	<i>0,75 mm</i>
<i>Délka štěrbin</i>	<i>37 mm</i>
<i>Max. intenzita magnetického pole</i>	<i>150 kA.m⁻¹</i>
<i>Max. pracovní teplota</i>	<i>120°C</i>

Pístová jednotka se instaluje na libovolný typ mechanického, elektrického či hydraulického pulsátoru při pístové rychlosti do 0,5 m/s. Při testu se tenzometrickým siloměrem měří a zaznamenává síla na pístnici, poloha pístu se měří lineárním senzorem. Signály se snímají vzorkovací frekvencí 500 Hz po dobu 20 až 80 s. Hodnoty pístové rychlosti a zrychlení se získají numerickou derivací polohy. Problematickou a pro reometr nesmírně důležitou je potřeba snímat teplotu hodnocené kapaliny během zkoušky co nejbližše měrné štěrbině. S úspěchem byla využita závislost elektrického odporu vinutí indukční cívky pístu na teplotě. Teplota ve štěrbině se tedy po kalibraci určí elektrickým odporem cívky vypočteným z měřených hodnot proudu a napětí.

Pístový reometr podle vynálezu je určen nejen pro testování magnetoreologických kapalin, ale je možné ho použít také jako zátěžné jednotky při zatěžování MR kapaliny.

Výhoda reometru podle vynálezu spočívá v dosažení vysokých smykových rychlostí, přesném měření teploty ve štěrbině, jednoduché instalaci na jakýkoliv mechanický nebo hydraulický pulsátor, snadné demontáži, dekontaminaci a nízkých pořizovacích a provozních nákladech. Další výhodou je jeho schopnost pracovat v dlouhodobém režimu.

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 křivky testované kapaliny za použití regresní analýzy při dané teplotě a intenzitě magnetického pole ve štěrbině a stanovení magnetické meze kluzu a dynamické viskozity.

Teoretická východiska pro analýzu

U reometrické jednotky je snímána pouze síla na píst v závislosti na pohybu pístu, proto je nezbytné připravit teoretický aparát pro odvození základních reologických veličin. Proudění newtonovské kapaliny štěrbinou o tloušťce h , šířce b a délce l je vyvoláno tlakovým spádem Δp (obr. 3). Uvažujeme-li laminární proudění, pak pro parabolický profil rychlosti ve směru y napříč štěrbinou platí rovnice:

$$v(y) = \frac{\Delta p}{2 \cdot \eta \cdot l} \left[\left(\frac{h}{2} \right)^2 - y^2 \right], \quad (2)$$

kde η je dynamická viskozita.

Pro objemový průtok platí rovnice:

$$dQ = b \cdot dy \cdot v(y) = b \cdot dy \cdot \frac{\Delta p}{2 \cdot \eta \cdot l} \left[\left(\frac{h}{2} \right)^2 - y^2 \right]$$

Potom po integraci:

$$Q = \frac{p \cdot b}{2 \cdot \eta \cdot l} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \left[\left(\frac{h}{2} \right)^2 - y^2 \right] dy = \frac{\Delta p \cdot b}{12 \cdot \eta \cdot l} \cdot h^3 \quad (3)$$

Pro objemový průtok kapaliny štěrbinou platí také:

$$Q = h \cdot b \cdot v_s \quad (4)$$

kde v_s je střední rychlost rychlostního profilu. Vyjádřením η z (3) a dosazením (4) lze získat vztah:

$$\eta = \frac{\Delta p \cdot b}{12 \cdot Q \cdot l} \cdot h^3 = \frac{\Delta p \cdot b}{12 \cdot h \cdot b \cdot v_s \cdot l} \cdot h^3 = \frac{\Delta p \cdot h^2}{12 \cdot v_s \cdot l} \quad (5)$$

Pro výpočet smykového napětí τ ve vrstvě maziva platí:

$$\tau = \frac{F}{S_t} = \frac{\Delta p \cdot b \cdot h}{2 \cdot b \cdot l} = \frac{\Delta p \cdot h}{2 \cdot l}, \quad (6)$$

kde F je síla protlačující olej štěrbinou a S_t je součet kontaktních ploch. Dosazením rovnic 3, 5 a 6 do Newtonovy rovnice $\tau = \gamma' \cdot \eta$ získáme vztah pro výpočet smykového spádu γ' ve vrstvě protékajícího maziva:

$$\gamma' = \frac{\tau}{\eta} = \frac{\Delta p \cdot h}{2 \cdot l} \cdot \frac{12 \cdot v_s \cdot l}{\Delta p \cdot h^2} = \frac{6 \cdot v_s}{h} \quad (7)$$

U newtonovské MR kapaliny však není celkový tlakový spád vyvolán pouze tímto hydraulickým odporem, ale též přitažlivými magnetickými silami mezi železnými částicemi. V [2] je tento stav popsán rovnicí:

$$\Delta p = \Delta p_\eta + \Delta p_\tau = \frac{12 \cdot \eta \cdot Q \cdot l}{h^3 \cdot b} + \frac{2 \tau_y(H) \cdot l}{h}, \quad (8)$$

kde právě hodnota meze kluzu $\tau_y(H)$ vyjadřuje napěťovou složku zdánlivé viskozity způsobenou magnetickým polem o intenzitě H . U newtonovské kapaliny tento člen odpadá. Této rovnici velmi dobře odpovídá tzv. Binghamský model tokové křivky (obr.5b). Při identifikaci jeho parametrů u

neznámé kapaliny je nutno kromě viskozity η , nezávislé na magnetickém poli, zjistit také $\tau_y(H)$ jako funkci intenzity magnetického pole H ve štěrbině.

Způsob zpracování a vyhodnocení naměřeného signálu

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. 5a).

Nyní je možné při znalosti geometrie pístu přejít k přepočtu Fv diagramu na tokovou křivku. Střední rychlost proudění ve štěrbině v_{s1} lze spočítat z rovnice kontinuity a okamžité rychlosti pístu v :

$$v_{s1} = v \cdot \frac{S_p}{b_1 \cdot h_1} = v \cdot \frac{S_p}{2\pi \cdot r_1 \cdot h_1}, \quad (11)$$

kde S_p je činná plocha pístu tlumiče. Sílu F lze za těchto předpokladů transformovat na celkové smykové napětí ve štěrbině τ a rychlost pístu v na smykový spád $\dot{\gamma}$ v měrné štěrbině pístu při použití vztahů:

$$\tau = \frac{\Delta p \cdot h_1}{2 \cdot 2l_1} = \frac{h_1}{4l_1} \cdot F \quad (12)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{6 \cdot v_{s1}}{h_1} = \frac{3 \cdot S_p}{\pi \cdot r_1 \cdot h_1^2} \cdot v \quad (13)$$

V této fázi je interaktivním procesem určena minimální hodnota smykové rychlosti pro regresní analýzu. Množinou bodů nad touto hodnotou je proložena regresní přímka a její průsečík

s osou τ stanovuje magnetický podíl τ_y , zatímco směrnice této přímky vyjadřuje dynamickou viskozitu η .

Při znalosti těchto veličin lze vykreslit Binghamský model (1) závislosti smykového napětí v kapalině na smykovém spádu (toková křivka) testované kapaliny při dané teplotě a intenzitě magnetického pole ve štěrbině (obr. 5b).

Přehled obrázků na výkresech:

Obr.1: Toková křivka MR kapaliny

Obr.2: Řez reometrem

Obr.3: Zjednodušené schéma pístové skupiny

Obr.4a: Naměřená množina bodů

Obr.4b: Vybrané body síly s nulovým zrychlením pístnice

Obr.5a: Množina bodů s vyrovnanou četností

Obr.5b: Binghamský model MR kapaliny

Obr.6: Výstupní obrazovka analýzy MR kapaliny v programu MultiViscoMRQ

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. 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:
<[http://www.anton-
paar.com/001/en/60/47](http://www.anton-paar.com/001/en/60/47)>

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

Příklad provedení vynálezu

Příklad 1

Testování magnetoreologické kapaliny Lord 140CG pomocí pístového reometru

K testování se použil pístový reometr podle vynálezu (obr.2), sestávající z kompletního pístu automobilového tlumiče 1 s elektromagnetickým vinutím 2 a pryžovým dorazem 3. Píst automobilového tlumiče 1 byl upraven zaslepením obtokového otvoru v jeho dnu ucpávkou 4 a byl uložen uvnitř válce 5, který obsahoval plovoucí píst 11 s odvzdušňovacím šroubem 12. Válec 5 pokrýval plastový plášť 13 s vtokovým šroubením 14 a výtokovým šroubením 15. Válec 5 byl ukončen horním víkem 6 s těsněním 7 a dolním víkem 8 s ventilem 9. Horní víko 6 i dolní víko 8 bylo připevněno k válci 5 pomocí převlečených matic 10,10'.

Měřitelný rozsah smykového spádu u pístového reometru byl $10^3 - 10^6 \text{ s}^{-1}$.

Měření se provádělo v rozběhovém režimu. Tenzometrickým siloměrem se měřila a zaznamenávala síla na pístnici a lineárním senzorem se měřila poloha pístu. Signály se snímaly vzorkovací frekvencí 500 Hz po dobu 80 s. Hodnoty pístové rychlosti a zrychlení se získaly numerickou derivací polohy. Teplota ve šterbině se po kalibraci určila podle elektrického odporu cívky vypočteného z měřených hodnot proudu a napětí.

V řídicím a analytickém programu MultiViscoMRQ instalovaném na PC s měřicí kartou se statisticky vyhodnotila množina naměřených hodnot. Získala se rychlostní charakteristika tlumiče,

která se pak transformovala do tokové a viskozitní křivky. Výstupní obrazovka analýzy této MR kapaliny s magnetickou mezí kluzu $\tau_y(H)$ 33 kPa a dynamickou viskozitou 0,28 Pas je uvedena na obr.6.

Průmyslová využitelnost

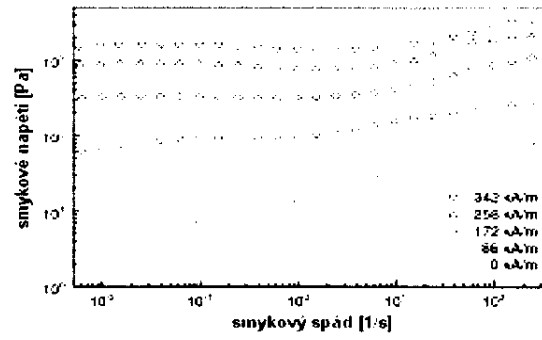
Pístový reometr umožňuje dlouhodobé testování magnetoreologických kapalin v reálných provozních podmínkách tlumících zařízení, při smykových spádech 10^3 do 10^6 s^{-1} a variabilních teplotách a přesné měření teploty ve štěrbině. Výhodou je jednoduchá konstrukce se snadnou vyměnitelností jednotlivých komponentů, jednoduchá instalace na jakýkoliv mechanický nebo hydraulický pulsátor, snadná demontáž, dekontaminace a nízké pořizovací a provozní náklady.

Reometr je využitelný jak pro testování magnetoreologických kapalin, tak jako zátěžná jednotka při zatěžování magnetoreologických kapalin.

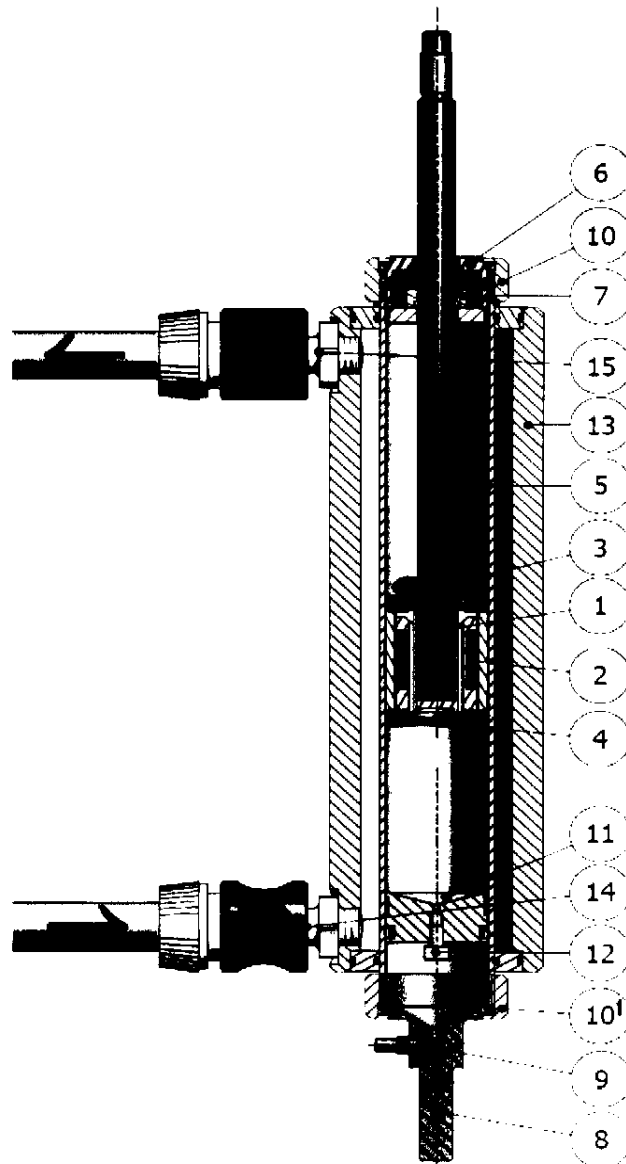
Vynález poskytuje také způsob analýzy naměřených dat včetně matematického aparátu a statistického vyhodnocení testované magnetoreologické kapaliny.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Pístový reometr pro testování magnetoreologických kapalin, **vyznačující se tím**, že sestává z kompletního pístu automobilového tlumiče (1) s elektromagnetickým vinutím (2) a pryžovým dorazem (3), kde píst automobilového tlumiče (1) je upraven zaslepením obtokového otvoru v jeho dnu ucpávkou (4) a je uložen uvnitř válce (5), který obsahuje plovoucí píst (11) s odvzdušňovacím šroubem (12), a kde válec (5) je pokryt pláštěm (13) s vtokovým šroubením (14) a výtokovým šroubením (15), přičemž je válec (5) ukončen horním víkem (6) s těsněním (7) a dolním víkem (8) s ventilem (9), kde horní víko (6) i dolní víko (8) je připevněno k válci (5) pomocí převlečených matic (10)(10') a měřitelný rozsah smykového spádu pístového reometru je od 10^3 do 10^6 s^{-1} .
2. Způsob analýzy ^{dat} signálu naměřeného pístovým reometrem podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že pomocí analytického řídicího programu se provedou následující kroky:
 - a) statistické vyhodnocení naměřeného signálu
 - b) transformace rychlostní charakteristiky pístové jednotky do tokové a viskózní křivky
 - c) identifikace parametrů tokové křivky měřené kapaliny za použití regresní analýzy
 - d) stanovení magnetické meze kluzu a dynamické viskozity
 - e) vyhodnocení teploty kapaliny ve šterbině z hodnot napětí a proudu cívky
3. Použití pístového reometru podle nároku 1 pro testování magnetoreologických kapalin.
4. Použití pístového reometru podle nároku 1 jako zátěžné jednotky při zatěžování magnetoreologické kapaliny.

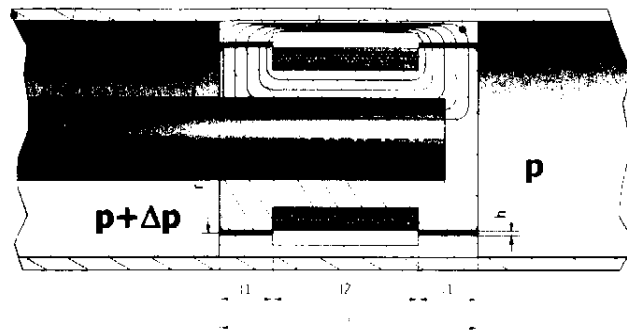


Obr.1

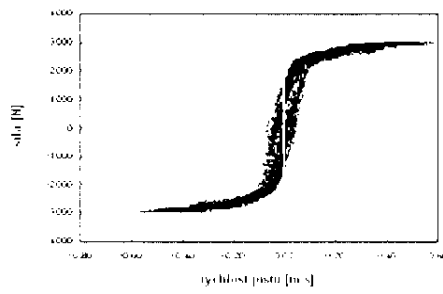


Obr.2

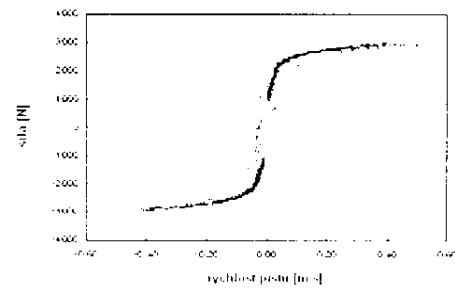
15.12.10



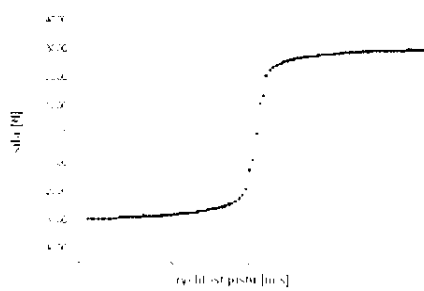
Obr.3



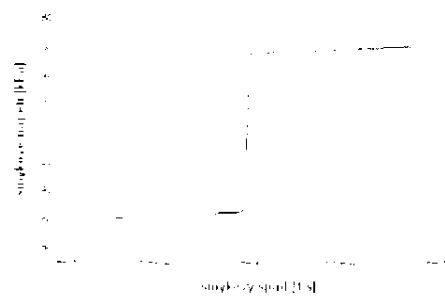
Obr.4a



Obr.4b



Obr.5a



Obr.5b

Figure 1 consists of four subplots labeled (a) through (d). Subplot (a) shows the step response of the system with the controller, with the y-axis labeled 'RPa' ranging from 0 to 50 and the x-axis labeled 't(s)' ranging from 0 to 4000. The response curve starts at 0 and rises to a steady-state value of approximately 40. Subplot (b) shows the step response of the system with the controller, with the y-axis labeled 'RPa' ranging from 0 to 50 and the x-axis labeled 't(s)' ranging from 0 to 4000. The response curve starts at 0 and rises to a steady-state value of approximately 40. Subplot (c) shows the frequency response of the system with the controller, with the y-axis labeled 'RPa' ranging from 0 to 50 and the x-axis labeled 't(s)' ranging from 0 to 4000. The response curve starts at 0 and rises to a steady-state value of approximately 40. Subplot (d) shows the comparison of the dynamic behavior of the two systems, with the y-axis labeled 'RPa' ranging from 0 to 50 and the x-axis labeled 't(s)' ranging from 0 to 4000. The response curve starts at 0 and rises to a steady-state value of approximately 40.

3/3