

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH
Łódź, 12 – 14 maja 1999 r.

Bogdan Wiślicki, Jan Holincki-Szulc
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN,
Wojciech Lassota
Instytut Pojazdów, Wyzd. SiMR, Politechnika Warszawska

**MAGNETOREOLOGICZNE CIECZE ROBOCZE: MOŻLIWOŚCI
KSZTAŁTOWANIA NIEKTÓRYCH WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH**

SŁOWA KLUCZOWE:

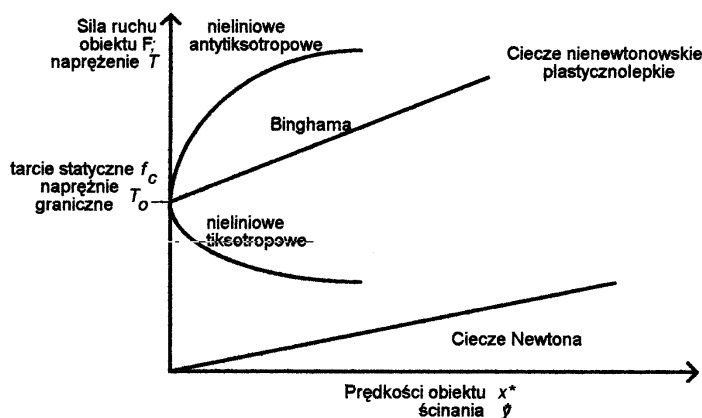
ciecze magnetoreologiczne, metody pomiarów, stabilność magnetoreologiczna, smarność

STRESZCZENIE

Przedstawiono metody pomiarów właściwości magnetoreologicznych cieczy. Stwierdzono porównywalne właściwości magnetoreologiczne cieczy krajowej z zagraniczną, zbliżone do prezentowanych w literaturze zagranicznej. Obserwowano silną nieliniowość oraz zróżnicowanie właściwości reologicznych w zależności od wymuszeń mechanicznych i cieplnych.

1. WPROWADZENIE

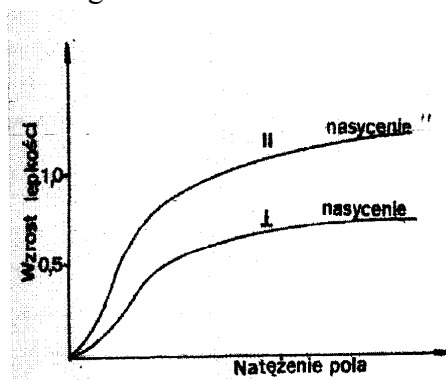
Niniejszy referat jest jedną z cyklu komplementarnych publikacji prezentowanych w 1999 roku, na sympozjach, konferencjach oraz w czasopiśmie naukowych, dotyczących problematyki urządzeń oraz „inteligentnych cieczy magnetoreologicznych” [1 do 5].



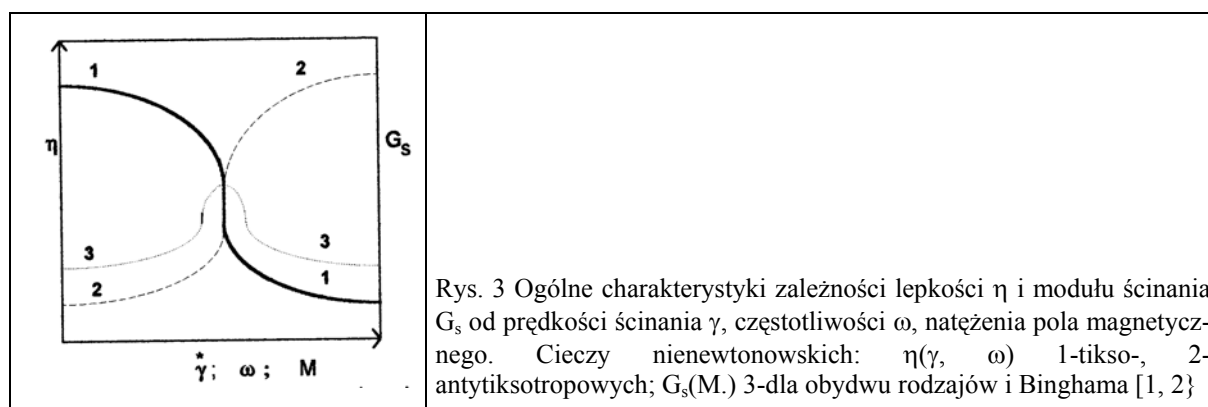
Rys.1. Ogólna charakterystyka reologiczna cieczy

2. WŁAŚCIWOŚCI CIECZY MR

Ciecze magnetyczne MR przedstawiają sobą dwufazowe układy ciekłe najczęściej koloidalne bądź typowe dyspersje ciał stałych w cieczech. Ich lepkość wzrasta ze wzrostem pola magnetycznego wykładniczo: $\eta = aM^b$, gdzie; M . Natężenie pola, a i b stałe zależne od właściwości fizykochemicznych dyspersji; wartości b zawierają się w granicach 2-3 [1, 2, 3]. Lepkość MR zależy także od kierunku linii sił pola, rys. 2. W obecności pola magnetycznego ujawniają bądź silnie pogłębiają się właściwości nienewtonowskie: odwracalne zmiany lepkości oraz wzrost modułów sprężystości (kilka rzędów wartości), ze wzrostem prędkości i częstotliwości ścinania rys. 1, 2, 3. Zaprzeszczenie działania pola powoduje powrót tych właściwości cieczy do stanu wyjściowego.



Rys. 2 Wzrost lepkości η_{\parallel} oraz η_{\perp} ferrocieczy, dyspersji Co, w zależności od kierunku jej przepływu w stosunku do linii sił oraz natężenia pola magnetycznego [R. Rosenberg, Ferrdynamics, New York 1985]



Rys. 3 Ogólne charakterystyki zależności lepkości η i modułu ścinania G_s od prędkości ścinania $\dot{\gamma}$, częstotliwości ω , natężenia pola magnetycznego. Ciecze nienewtonowskich: $\eta(\dot{\gamma}, \omega)$ 1-tisko-, 2-antytkotropowych; $G_s(M)$ 3-dla obydwu rodzajów i Bingham [1, 2]

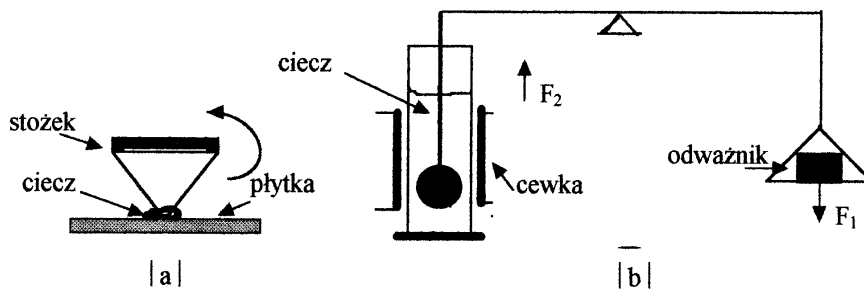
Grupę cieczy MR reprezentują: ciecze magnetyczne koloidalne zawiesiny ferrocząstek Co, Fe, Fe_3O_4 i innych ferromagnetyków [1, 2, 3] o rozmiarach $0,001 \div 0,01 \mu m$. (1 do 10 nm) oraz ferrociecze - zawiesiny ferro cząstek, o średnicach $1 \div 10 \mu m$. Jako ośrodek dyspersyjny stosuje się: czyste oleje mineralne bądź inne, np. estrowe. Ważniejsze wymagania i regulowane parametry cieczy MR, opracowanych przez autorów referatu oraz zagranicznych, zestawiono w tablicy 1.

W polu magnetycznym ciecze te oprócz nieliniowych zmian lepkości w zależności od naprężenia, τ , i/lub prędkości ścinania, $\dot{\gamma}$, (rys. 1, 3, 4, 5) ulegają zestaleniu. Nabierają właściwości przypisywanych cieczeno plastyczno-lepkim. Ich płynięcie musi być poprzedzone przekroczeniem progowego naprężenia stycznego, τ_y , niszczącego pseudostałą strukturę. Charakter płynięcia, zależny od prędkości ścinania, wykazują liniowy - ciecze plastycznolepkie Bingham, nieliniowy - ciecze plastycznolepkie nieliniowe.

Ostatnie charakteryzują się obniżeniem (tikсотropia) bądź wzrostem (antytikсотropia, reopeksja) lepkości (rys. 5). Modele idealnych cieczy plastycznolepkich, (rys. 1), charakteryzują: τ_y - graniczne naprężenie spowodowane przez pole magnetyczne bądź inne, η_p - lepkość plastyczna $\tau(\dot{\gamma})$ po przekroczeniu granicy płynięcia τ_y (często niezależną od działania pola).

3. METODY BADAŃ [5]

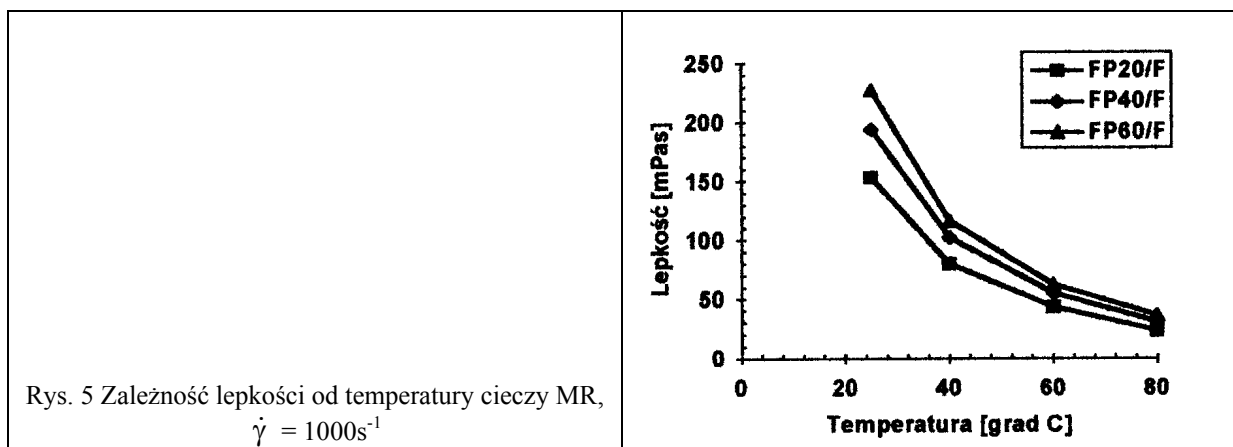
Właściwości reologiczne cieczy MR w postaci krzywych płynięcia $\eta = \tau / \dot{\gamma}$, przy nieobecnych polu magnetycznym wyznaczano z dokładnością $\pm 3\%$, za pomocą typowego fabrycznego wiskozymetru rotacyjnego Ferranti - Shirley, na układzie stożek - płyta mierząc momenty obrotowe - naprężenia styczne (τ) przy zadawanych prędkościach obrotowych - ścinania ($\dot{\gamma}$), rys. 4a. Naprężenia graniczne τ_y , jako siłę potrzebną do zniszczenia zestalonej polem magnetycznym struktury cieczy, jej popłynięcia, określano z dokładnością nie lepszą niż $\pm 7\%$ za pomocą zmodyfikowanej przez autorów wiskowagi, rys. 4b. Z wartości F odważników na szalce wagi, przy których unieruchomiona przez zestaloną ciecz kulka pomiarowa o ramieniu R zaczęła się poruszać, tj. Rozpoczęła się płynięcie, wyznaczano - dla zadanych wartości natężenia stałego pola magnetycznego - $\tau_y = F / \pi R^2$.



Rys. 4. Zasady pomiarów właściwości magneto reologicznych cieczy MR:
 a - lepkości w zależności od prędkości ścinania,
 b- naprężeń granicznych w zależności od natężeń stałego pola magnetycznego.

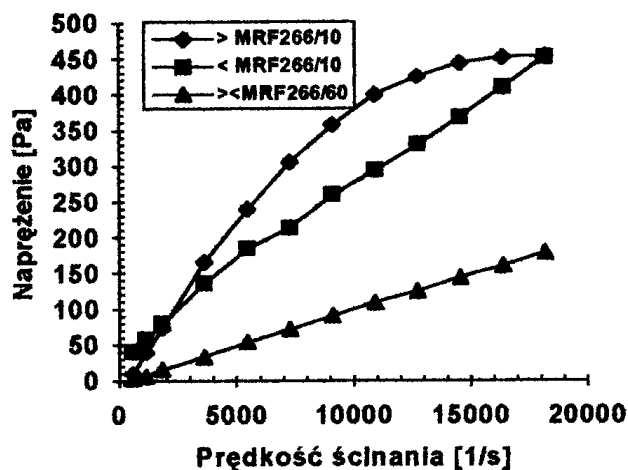
4. CHARAKTERYSTYKI MAGNETOREOLOGICZNE CIECZY MR

Krzywe płynięcia cieczy: krajowej FP i zagranicznej MRF 266, zawierających 20,40 i 60% dyspersji ferromagnetyków (Mn-Zn-Fe) w oleju, przy nieobecnych polu magnetycznym, przedstawiono na rys.5 [6, 7].

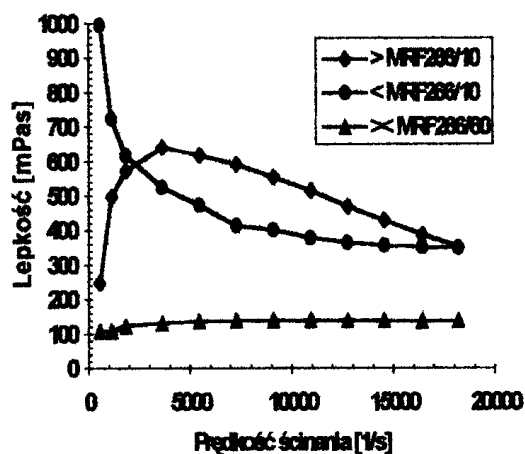


Rys. 5 Zależność lepkości od temperatury cieczy MR,
 $\dot{\gamma} = 1000s^{-1}$

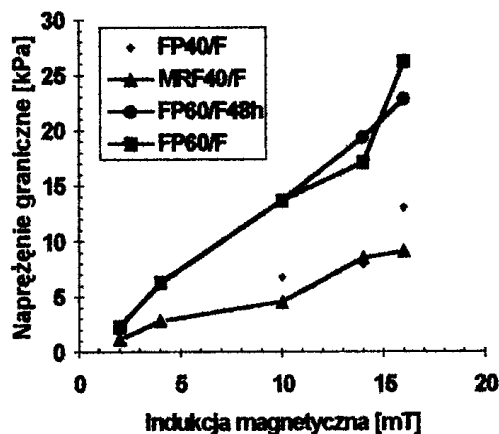
Największe lepkości miały ciecze zawierające 40% dyspersji. W temperaturach umiarkowanych i bliższych zera, $40 \pm 10^\circ\text{C}$, ich krzywe płynięcia cieczy charakteryzowały się dużymi, do 60%, antytiksotropowymi wzrostami lepkości przy $\dot{\gamma} \approx 4000 \div 6000 \text{ s}^{-1}$, rys. 6,7, w przypadku cieczy zagranicznej MRF266 zawierającej ok. 60% ferromagnetyku, sięgały 250%. W temperaturach $> 40^\circ\text{C}$ ciecze te ujawniały tiksotropowe obniżenie lepkości, sięgające 60%, rys.7.



Rys. 6. Krzywe płynięcia cieczy MR w temperaturach 10 i 60°C



Rys. 7 Zmiany lepkości w zależności od prędkości ścinania cieczy, jak na rys. 6



Rys. 8 Zależność napężenia granicznego cieczy MR od natężenia pola magnetycznego

Podwyższenie temperatur do 80°C i $\dot{\gamma}$ do 18000s⁻¹ powodowało tendencje zmian przebiegów nieliniowych, w tym pętli histerezy, w liniowe (rys.7). Charakterystyki naprężeń granicznych badanych cieczy MR, krajowej i zagranicznej, w zależności od natężenia pola magnetycznego, przedstawione na rys. 8 zmieniały się nieliniowo i nie różniły się znacząco od danych literaturowych, tablica 1. Zwiększenie koncentracji ferromagnetyku o 50% powodowało 4÷5-krotny wzrost τ_y .

5. PODSUMOWANIE

Potwierdzono możliwości bezpośredniego kształtowania za pomocą stałego pola magnetycznego właściwości lepko-plastyczno-sprężyste cieczy magnetoreologicznych MR. Jest realnym otrzymanie cieczy MR o bardzo zróżnicowanych właściwościach użytkowych, dostosowanych do wymagań i specyfiki eksploatacji urządzeń. Dobierając i/lub modyfikując właściwości fizykochemiczne oraz morfologię i koncentrację ich składników można kształtować, pod nieobecność i w obecności pola oraz w zależności od wymuszeń mechanicznych i cieplnych wartości: lepkości, plastyczności, modułów sprężystości, ścinania cieczy MR. Pośrednio może to dotyczyć szeregu innych właściwości, reologicznych i/lub użytkowych. Często należy liczyć się z nieaddytywnością właściwości składników i wynikającą stąd nieliniowością parametrów produktów finalnych, wbrew informacjom w niektórych publikacjach.

LITERATURA

1. Wiślicki B.: Ciecze robocze do współczesnych i perspektywicznych układów hydraulicznych, IX Sympozjum: Paliwa Płynne i Produkty Smarowe w Gospodarce Morskiej, Jachranka, grudzień 1995, s. 126-140.
2. Wiślicki B., Zdrodowska B.: Nowoczesne i perspektywiczne ciecze hydrauliczne, Sympozjum, Materiały Seminaryjne: Hydropneumatica'96, Gdańsk-Gdynia.
3. Jordan C., Shaw M. T: Electrorheology, IEEE Transaction Electrical Insulation, v. 24, No 5, October 1989.
4. Kembłowski Z., Reometria płynów nienewtonowskich, WNT, Warszawa, 1973
5. Wiślicki B., prace niepublikowane

Tablica 1 Zestawienie niektórych właściwości cieczy magnetoreologicznych

Lp.	Parametry	Krajowa	Zagraniczna	W/g. literatury
1	Maksymalne naprężenie			
	Graniczne τ_y [kPa]	-	-	-
	Dla 50 Wat	6,8	4,5	50-100
	100 Wat	13,0	9,1	-
2	Lepkość plastyczna			
	η_p [cP, mPas]	151,2/40°C	78,3/40°C	200-1000
3	Wskaźnik binghamowski			
	η_p/τ_y^2 [s/Pa]	$8,9 \cdot 10^{-10}$	$4,3 \cdot 10^{-10}$	10^{-10} do 10^{-11}
4	Gęstość $\rho^{20\text{grad C}}$ [g/cm ³]	1,705	2,943	3 do 4
5	Średnica ferrocząstek [$\mu\text{m.}$]	ok.1	ok. 1	1 do 10
6	Koncentracja [w/w]	0,4	0,4	0,2 do 0,4
7	Ciecz dyspergująca	olej mineralny	-	-
8	Natężenie pola [kA/m.]	17 do 30	-	25 do 250
9	Indukcja magnetyczna [mT]	10 do 16	-	-

THE MAGNETORHEOLOGICAL POWER FLUIDS: THE POSSIBILITY OF MODELLING OF SOME USEFUL PROPERTIES

ABSTRACT

The paper presents the measurement methods of magnetorheological properties. It has been found that the magnetorheological properties of domestic liquids and foreign ones were comparable. Strong nonlinearity and heterogeneity of rheological properties depends on mechanical and thermal influences.

Recenzent: Jan Burcan