

Materiały magnetoreologiczne, ze względu na zestalenie pod wpływem pola magnetycznego; są uważane za przyszłościowy materiał funkcjonalny stosowany do struktur aktywnie tłumiących drgania czy redukujących wpływ uderzenia. Z racji rosnących możliwości aplikacyjnych materiałów magnetoreologicznych (MR), ich zachowanie powinno zostać dokładnie zbadane do wiadczalności. Konieczny jest ten teoretyczny opis zachowania materiału oraz analiza procesów w prostych stanach obciążenia (np. ściskania), w celu zrozumienia zjawisk fizycznych zachodzących w materiale. Potrzebne jest też modelowanie oraz badania numeryczne w celu identyfikacji i weryfikacji proponowanego opisu. Tego typu badania są rzadko wykonywane ze względu na skomplikowane zachowanie materiału w polu magnetycznym dla różnych warunków obciążenia.

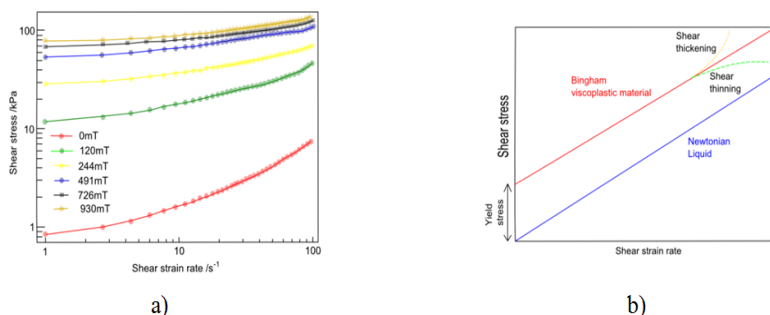
Celem projektu jest zbadanie zachowania materiałów MR pod wpływem szybkich obciążeń dynamicznych i stworzenie nowego modelu teoretycznego zweryfikowanego obliczeniami numerycznymi. Do badań podstawowych należy rozszerzenie modelu lepkoplastycznego Perzyny [6] oraz wykrycie nowych mechanizmów fizycznych, które są odpowiedzialne za wzrost granicy plastyczności czy ze wzrostem prędkości odkształcenia w polu magnetycznym o różnym natężeniu. Badany będzie do wiadczalności oraz teoretycznie wpływ obciążenia dynamicznego na zmianę konfiguracji cząstek ferromagnetycznych w wyniku działania pola magnetycznego oraz towarzyszący temu mechanizm generacji pasm ścinania. Do opisu zachowania cieczy MR wykorzystuje się model Bingham [3].

$$\tau = \tau_{0H}(H) + \mu\dot{\gamma} \quad (1)$$

Równanie (1) prezentuje model Bingham, gdzie:  $\tau$  - naprężenie styczne,  $\tau_{0H}$  - quasi-statyczna granica plastyczności zależna od natężenia pola magnetycznego  $H$ ,  $\mu$  - współczynnik lepkości,  $\dot{\gamma}$  - prędkość odkształcenia postaciowego.

Podjęcie proponowanej tematyki badawczej jest uzasadnione tym, że liniowa charakterystyka modelu Bingham [3] nie jest adekwatna dla materiałów magnetoreologicznych w zakresie dużych prędkości odkształcenia:

Złożona budowa materiału, którego cząstki ferromagnetyczne są związane między sobą w wyniku działania pola magnetycznego, wpływa na jego nieliniowe charakterystyki. To zostało wykazane w badaniach prezentowanych w pracach [4 - 5].



Rysunek 1: a) Wyniki doświadczeń [4] i b) teoretyczne podejście prezentowane przez [5].

Na Rys. 1a przedstawiono wyniki badań dynamicznych z prędkości odkształcenia postaciowego  $25 \text{ s}^{-1}$  dla cieczy magnetoreologicznej z zawartością ferroelementów na poziomie 30%. Na Rys. 1a widać brak liniowej zależności naprężenia stycznego do prędkości odkształcenia postaciowego - jak to ma miejsce w modelu Bingham. Rys. 1b prezentuje teoretyczne zachowanie materiału lepkoplastycznego, którego charakterystyka odstępuje od liniowości w zakresie większych prędkości odkształcenia (naprężenie styczne - prędkość odkształcenia postaciowego) odstępuje od zależności liniowej w wyniku prędkości obciążenia.

Aby opisać zachowanie cieczy MR zostanie wykorzystany zmodyfikowany lepkoplastyczny model Perzyny [6]. Uwzględnienie wpływu pola magnetycznego na materiał w modelu Perzyny proponuje się w następujący sposób:

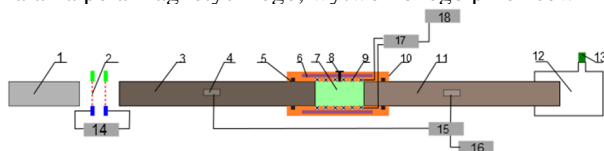
$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2G(H)} \dot{s}_{ij} + \gamma(H) \left( \Phi \left( \frac{\sqrt{J_2}}{\kappa(H)} - 1 \right) \right) \frac{s_{ij}}{\sqrt{J_2}} \quad (2)$$

Gdzie:  $\Phi$  jest nieliniową funkcją nadwyżki:

$$\langle \Phi \rangle = \begin{cases} \Phi, & \text{gdzie } \sigma > f(\epsilon) \\ 0, & \text{gdzie } \sigma \leq f(\epsilon) \end{cases}$$

$\sigma = f(\epsilon)$  jest charakterystyką materiałową dla próby quasi-statycznej na ściskanie,  $\epsilon$  jest nominalnym odkształceniem,  $2G(H)$  jest modulem ścinania zależnym od natężenia pola magnetycznego  $H$ ,  $\gamma(H)$  - współczynnik lepkości materiału zależny od pola magnetycznego  $H$ ,  $\kappa(H)$  jest quasi-statyczną granicą plastyczności zależną od pola magnetycznego  $H$ ,  $s_{ij}$  jest dewiatorem tensora naprężenia,  $\dot{\epsilon}_{ij}$  jest dewiatorem prędkości odkształcenia,  $J_2$  jest drugim niezmiennikiem dewiatora naprężenia.

Do wiadczalnej identyfikacji parametrów dla magneto-lepkoplastycznego modelu Perzyny zostanie przeprowadzona na przystosowanym do badań cieczy magnetoreologicznej stanowisku laboratoryjnym. Zaprojektowane stanowisko bazuje na konfiguracji prętów Hopkinsona [7-8, 15-16] uzupełnionej o specjalnie skonstruowany uchwyt dla próbki z cieczą magnetoreologiczną. W pojemniku będzie znajdowała się ciecz, która będzie mogła zmienić swój stan skupienia pod wpływem działania pola magnetycznego, wytworzonego przez cewki otaczające pojemnik.



Rysunek 2: Poglądowy model zestawu próbnika Hopkinsona z uchwytem do badania cieczy magnetoreologicznej. 1) pocisk, 2) układ fotodiod, 3) przetwornik ciśnienia, 4) tensometr, 5) uszczelki, 6) system chłodzenia cewek, 7) ciecz magnetoreologiczna, 8) układ odpowietrzania, 9) cewka, 10) tuleja, 11) przetwornik prądu, 12) hamulec pneumatyczny, 13) system regulacji skoku prądu, 14) układ pomiaru czasu przelotu pocisku, 15) wzmacniacz sygnału, 16) układ akwizycji danych, 17) układ zasilania cewek, 18) system sterowania cewek.

Człony quasi-statyczny do wiadczenia zostanie przeprowadzona z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej Instron, również uzupełnionej o specjalny uchwyt dla próbki z cieczą otoczoną cewkami magnetycznymi.

Dzięki badaniom właściwości cieczy MR pod wpływem obciążeń quasi-statycznych i dynamicznych możliwa będzie identyfikacja parametrów zmodyfikowanego modelu Perzyny. Ich weryfikacja i analiza zostanie przeprowadzona w sposób numeryczny za pomocą metody elementów skończonych. Przeprowadzenie obliczeń numerycznych wymaga napisania własnego programu materiałowego UMAT dla modelu magneto-lepkoplastycznego Perzyny, który zostanie następnie zaimplementowany bezpośrednio do komercyjnego programu Abaqus.

Badania podstawowe związane z zachowaniem cieczy magnetoreologicznych poddanych dynamicznym obciążeniami poszerzą zakres wiedzy o materiałach funkcjonalnych. Wpływ badań nad ferroelementami w polu magnetycznym przyczyni się do lepszego zrozumienia zachowania tego typu materiałów w kontekście mechaniki materiałów i inżynierii materiałowej.