

ANALIZA DOŚWIADCZALNA DRGAŃ BELKI Z CIECZĄ MAGNETOREOLOGICZNĄ W NIEJEDNORODNYM POLU MAGNETYCZNYM

BOGDAN SAPIŃSKI, JACEK SNAMINA

*Katedra Automatykacji Procesów, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
e-mail: deep@agh.edu.pl*

Streszczenie. W pracy przedstawiono budowę i wyniki badań drgań własnych trójwarstwowej belki wspornikowej z cieczą magnetoreologiczną (MR). Wewnętrzną część belki wypełniono cieczą MR, a zewnętrzne warstwy wykonano z aluminium. Belkę umieszczono w niejednorodnym polu magnetycznym wytworzonym przez układ magnesów. Belkę oraz układ magnesów zamocowano w specjalnie skonstruowanym stanowisku badawczym.

1. WSTĘP

Ciecze MR są niekoloidalną zawiesiną magnetycznie spolaryzowanych cząstek rozproszonych w niemagnetycznym nośniku. Najczęściej używanym materiałem magnetycznym, z którego wykonane są cząstki, jest żelazo lub jego tlenki. Rozmiar cząstek wynosi kilka mikronów [3], [9]. Jako nośniki używane są: woda, silikon, oleje mineralne i syntetyczne oraz glicerol.

W polu magnetycznym ciecze MR mogą zmieniać swoje własności od charakterystycznych dla cieczy aż po własności ciał stałych [1], [2]. Zmiany te są w pełni odwracalne i następują w czasie kilku milisekund. Z tego względu ciecze MR są bardzo dobrymi materiałami do zastosowania w układach, których własności podlegają sterowanym zmianom [5], [6], [7], [10]. Różnice w działaniu między różnymi rodzajami cieczy MR zależą głównie od zawartości cząsteczek magnetycznych, ich rozmiaru i kształtu oraz własności nośnika. Ciecze MR znalazły zastosowanie w semiaktywnych układach redukcji drgań.

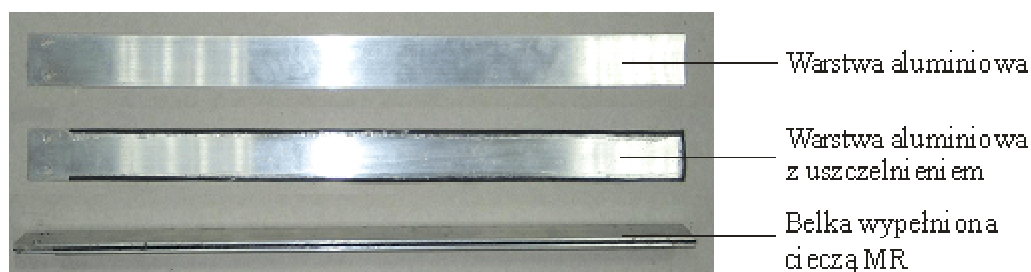
Pracę poświęcono badaniom drgań własnych belki wspornikowej z cieczą MR. W skali laboratoryjnej drgania belki z cieczą MR w jednorodnym polu magnetycznym były już przedmiotem badań [6], [8]. W literaturze można znaleźć opisy stanowisk badawczych, wyniki pomiarów oraz modele obliczeniowe rozpatrywanej w pracy belki. Ciecz MR podczas drgań o małych amplitudach oraz stosowanego zakresu natężenia pola magnetycznego pracuje w trybie „przed uplastycznieniem”. Zagadnienie dopuszczalnych amplitud drgań belki, przy których cała warstwa MR pracuje w trybie „przed uplastycznieniem”, rozważano w [4]. Analizując drgania belki, własności warstwy MR można opisać, wykorzystując zespolony moduł odkształceń poprzecznych, opisujący tak zmiany jej sztywności jak i tłumienia przy zmianie natężenia pola magnetycznego. Zmieniając natężenie, można sterować własnościami mechanicznymi belki. W badaniach opisanych w literaturze zakładano, że pole magnetyczne jest jednorodne. Niejednorodne pole magnetyczne oddziałujące na belkę z cieczą MR

wywołuje dodatkowe zjawiska związane z oddziaływaniem na poszczególne cząstki magnetyczne. Zwiększa to możliwość sterowania sztywnością belki.

2. BUDOWA BELKI

Dla celów badawczych zaprojektowano trójwarstwową belkę o długości $l = 400$ mm i szerokości $b = 30$ mm. Zewnętrzne warstwy wykonano z aluminium o grubości $h = 2$ mm, a przestrzeń pomiędzy tymi warstwami wypełniono cieczą MR typu 140CG-250 firmy Lord Corporation [11].

Etapy przygotowania belki przedstawiono na rys.1. W pierwszym etapie wycięto dwie zewnętrzne warstwy aluminiowe o założonych wymiarach. Dwa otwory widoczne na rys.1 są wykorzystane przy mocowaniu belki. Na obrzeżach jednej z warstw naklejono uszczelnienie z gumy silikonowej o grubości 1.5 mm, wysokości 1.5 mm i twardości 60 wg normy DIN 53505. Zastosowany klej silikonowy zwiększył wysokość warstwy uszczelnienia do $h_0 = 2$ mm. Uszczelnienie naklejono na trzech bokach warstwy aluminiowej.



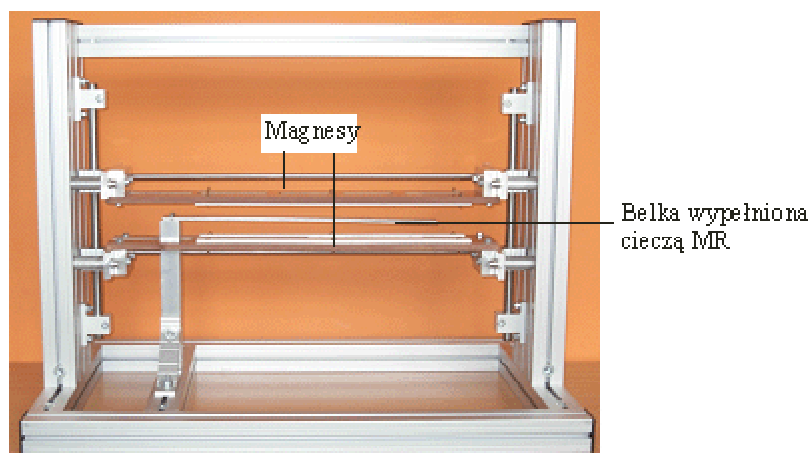
Rys.1. Belka i jej główne elementy

Po doklejeniu drugiej warstwy aluminiowej do warstwy z uszczelnieniem przestrzeń powstałą między warstwami wypełniono cieczą MR. Na tym etapie prac bok belki od strony uchwytu nie jest uszczelniony i jest wykorzystany do wprowadzenia cieczy tak, aby przestrzeń wewnętrzna była dokładnie wypełniona. Czynnością kończącą przygotowywanie belki jest wklejenie płytki aluminiowej zamykającej warstwę cieczy MR od strony uchwytu mocującego. Płytkę ma grubość równą grubości warstwy gumy. W ten sposób otrzymano belkę z cieczą MR przygotowaną do badań.

3. STANOWISKO BADAWCZE

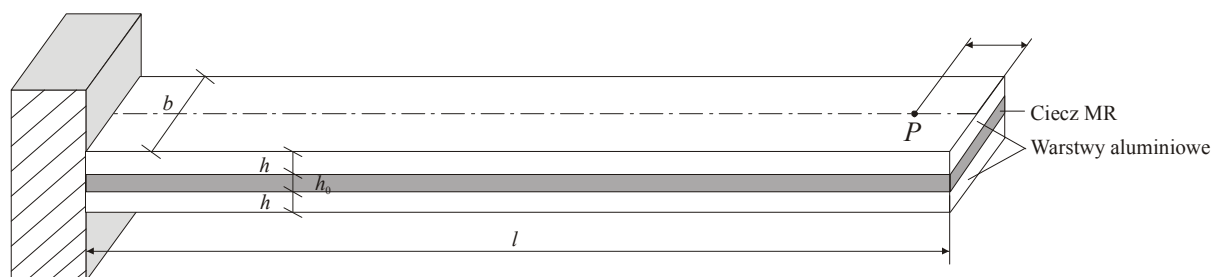
Do badań drgań belki w polu magnetycznym skonstruowano stanowisko, którego widok pokazano na rys.2. Stanowisko zostało przygotowane do badania belki wspornikowej. Po dołączeniu drugiego uchwytu można przystosować stanowisko do badania belek obustronnie zamocowanych.

Ramę układu mocującego wykonano z profili aluminiowych. Do ramy zamocowano układ umożliwiający niezależne przesuwanie dwóch matryc w kierunku pionowym. W matrycach umieszczono zespoły magnesów.



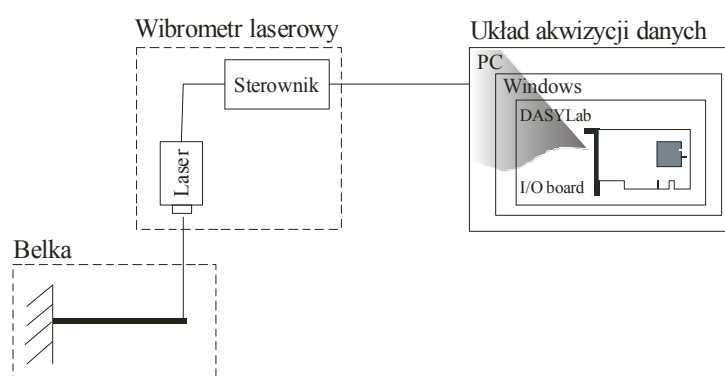
Rys.2. Stanowisko badawcze

Schemat zamocowanej belki z zaznaczonymi wymiarami oraz lokalizacją punktu pomiarowego P do rejestracji przemieszczenia przedstawiono na rys.3.



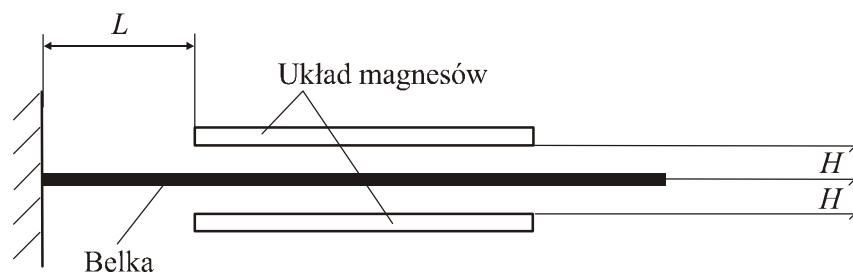
Rys.3. Schemat belki zamocowanej w uchwycie

Schemat układu do pomiaru drgań własnych belki pokazano na rys.4. Przemieszczenia belki mierzono wibrometrem laserowym Polytec OFV-505. Wyniki pomiarów rejestrowano w układzie akwizycji danych.



Rys.4. Schemat układu pomiarowego

Pole magnetyczne wytworzono, stosując magnesy ułożone w matrycach z tworzywa sztucznego. Matryce umożliwiają różne ukierunkowanie wektora natężenia pola magnetycznego względem belki. Położenie układu magnesów względem belki przedstawiono schematycznie na rys.5.



Rys. 5. Układ magnesów belki

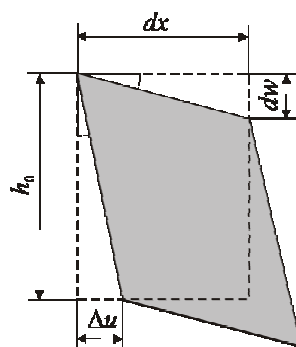
Wymiary L oraz H , określające położenie układu magnesów w przyjętych wariantach, podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wymiary określające położenie układu magnesów

Wariant położenia magnesów	H [m]	L [m]
1	0.08	0.06
2	0.08	0.20
3	0.03	0.06
4	0.03	0.20

4. ODKSZTAŁCENIA WARSTWY WYPEŁNIONEJ CIECZĄ MR

Zakładając małe przemieszczenia punktów belki, można przyjąć, że na powierzchni granicznej między warstwą aluminiową a cieczą MR nie ma poślizgu. W wyniku oddziaływania warstwy cieczy MR, warstwy aluminiowe są oprócz zginania również rozciągane lub ściskane. Wartość tego oddziaływania stanowi o stopniu sprzężenia ruchu zewnętrznych warstw belki z warstwą tłumiącą. Elementy warstwy cieczy MR podlegają odkształceniom postaciowym. Schematycznie odkształcenie elementu o długości dx wyodrębnionej z warstwy środkowej o grubości h_0 przedstawiono na rys.6.



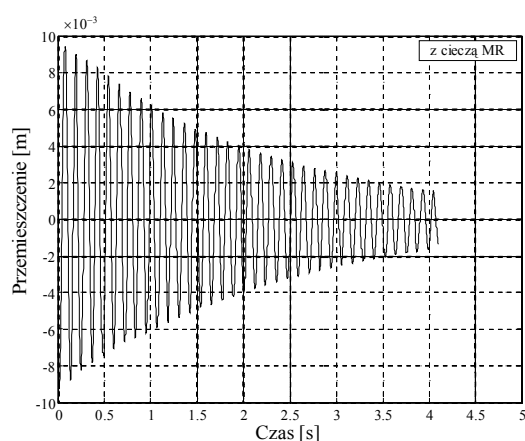
Rys.6. Odkształcenie postaciowe małego elementu warstwy środkowej belki

Przez dw oraz Δu oznaczono zmiany współrzędnych przemieszczenia odpowiednio w kierunku pionowym i kierunku poziomym (wzdłuż osi belki). Ścinanie elementów cieczy MR w czasie ruchu belki ma bardziej złożony charakter niż w wielu innych układach, w szczególności w rozwiązaniach konstrukcyjnych tłumików MR. Odkształcenie kątowe jest

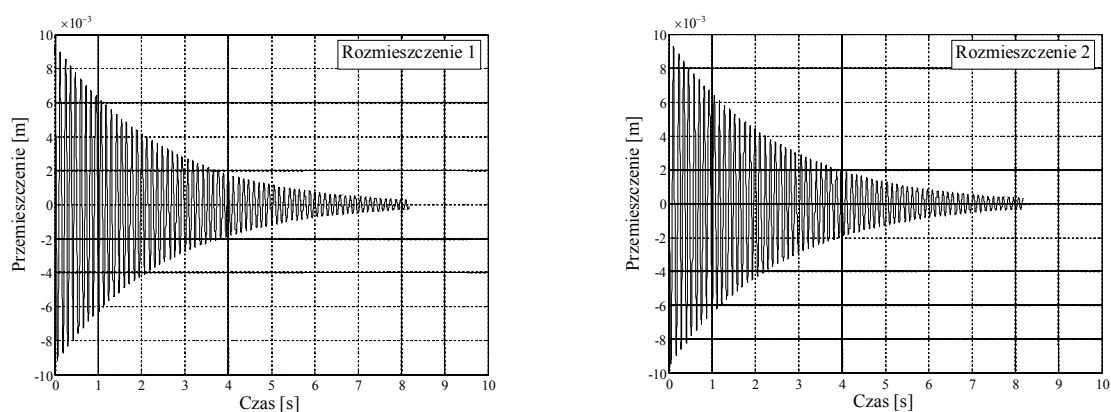
związane zarówno ze zmianą składowej poziomej wektora przemieszczenia jako funkcji współrzędnej prostopadłej do osi belki jak i zmianą składowej pionowej wektora przemieszczenia jako funkcji współrzędnej osiowej. W innych zastosowaniach cieczy MR tylko zmiana jednej współrzędnej przemieszczenia powoduje ścinanie jej elementów. W takich przypadkach wektor natężenia pola magnetycznego jest skierowany prostopadle do przemieszczeń wywołujących ścinanie.

5. WYNIKI POMIARÓW

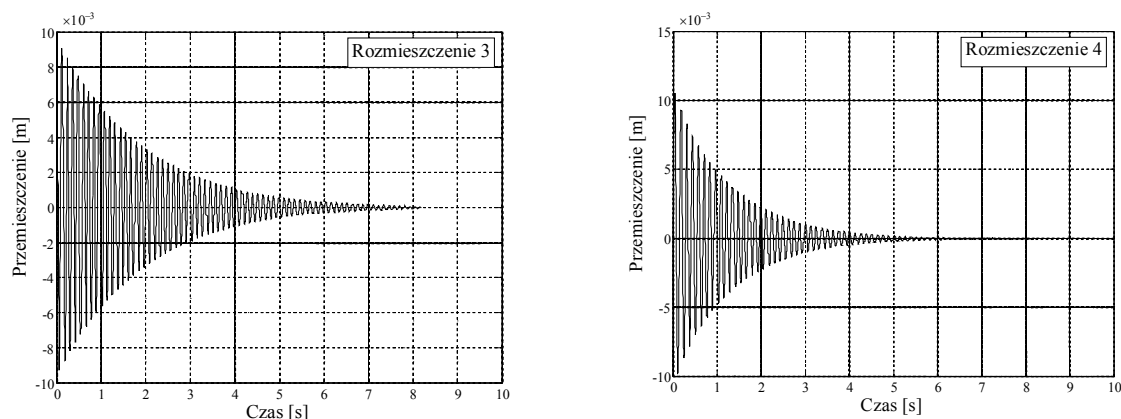
Przykładowe wyniki pomiarów przemieszczenia punktu pomiarowego P belki przedstawiono na rys.7–9. Przemieszczenia belki zarejestrowane bez pola magnetycznego pokazano na rys.7, a w polu magnetycznym na rys.8–9.



Rys.7. Przemieszczenie belki z cieczą MR bez pola magnetycznego



Rys.8. Przemieszczenie końca belki z cieczą MR w polu magnetycznym (wariant 1 i 2 położenia układu magnesów)



Rys.9. Przesunięcie końca belki z cieczą MR w polu magnetycznym (wariant 3 i 4 położenia układu magnesów)

Na podstawie zarejestrowanych przemieszczeń wyznaczono podstawową częstotliwość oraz bezwymiarowy współczynnik tłumienia drgań własnych belki w czterech wariantach położenia magnesów oraz po usunięciu magnesów. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowa częstotliwość oraz modalny współczynnik tłumienia belki.

Wariant położenia magnesów	Częstotliwość [Hz]	Modalny współczynnik tłumienia [-]
Bez pola magnetycznego	8.54	0.008
1	8.54	0.008
2	8.54	0.008
3	8.42	0.010
4	7.81	0.015

5. WNIOSKI

Częstotliwość drgań belki w polu magnetycznym zmniejsza się. Jest to wynikiem działania sił niejednorodnego pola magnetycznego na elementy ferromagnetyczne zawarte w cieczy MR. Analizując pole magnetyczne wytworzone przez magnesy, widać, że belka po wychyleniu z położenia równowagi przemieszcza się w kierunku, w którym moduł wektora natężenia pola magnetycznego rośnie. Siły pola działające na ferromagnetyczne elementy zawarte w cieczy MR działają przeciwnie niż siły sprężystości, zmniejszając częstotliwość drgań własnych belki. Oddziaływanie to można wykorzystać w układach sterujących drganiami belek. Współczynnik tłumienia drgań belki zwiększa się wraz ze wzrostem indukcji pola magnetycznego.

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej, projekt badawczy nr 11.11.130.560.

LITERATURA

1. Dai H, Yalcinitas M.: Vibration suppression capabilities of magnetorheological materials in adaptive structures. 1998.
2. Jolly M. R., Bender W., Carlson J. D.: Properties and applications of commercial magnetorheological fluids. "Journal of Intelligent Material Systems and Structures" 1999, Vol. 10.
3. Nakano M., Yamamoto H, Jolly M. R.: Dynamic viscoelasticity of magnetorheological fluid in an oscillatory slit flow. Proceedings of 6th International Conference on ERF and MRS and Their Applications. Yonezawa, Japan, 1997.
4. Sapiński B., Snamina J.: Modeling of an adaptive beam with MR fluid. "Solid State Phenomena" 2009, Vols. 147-149, p. 819-824.
5. Sapiński B., Snamina J.: Vibration control capabilities of an adaptive beam with MR fluid. "Quarterly Mechanics" 2008, Vol. 26, No. 1, p. 22–29.
6. Sun Q., Zhou J. X., Zhang L.: An adaptive beam model and dynamic characteristics of magnetorheological materials. "Journal of Sound and Vibration" 2003, 261, p. 465–482.
7. Sun C. T., Lu Y. P.: Vibration damping of structural elements. Prentice-Hall PTR, 1995.
8. Magnetorheological fluid composite structures. United States Patent No. 5,547,049, 1994.
9. Weiss K. D., Carlson J.D., Nixon D.A.: Viscoelastic properties of magneto- and electrorheological fluids. "Journal Intelligent Material Systems and Structures" 1994, p. 772–782.
10. Yalcinitis M., Dai H.: Performance comparison of magnetorheological and electrorheological materials in adaptive structural applications. "Adaptive Structure and Materials Systems ASME" 1998, Vol. 83, 49–61.
11. <http://www.lord.com>

VIBRATION OF A BEAM WITH MAGNETORHEOLOGICAL FLUID IN NON-HOMOGENOUS MAGNETIC FIELD

Summary. Vibrations of a three-layered supporting beam filled with magnetorheological (MR) fluid are investigated experimentally. Tests were performed in a laboratory facility, designed for the purpose of the experimental program. The beam was fixed in the support. The displacement of a selected point on a beam was measured. Tests showed that application of a non-homogenous magnetic field enable further control of the beam's stiffness, which might be utilised in active vibration reduction.

