

B. Streszczenie

Temat niniejszej rozprawy dotyczy opracowania koncepcji prototypu miękkiego chwytaka wykorzystującego elastomery magnetoreologiczne (MRE). Autor rozpoczął rozprawę od przeglądu literatury dotyczącej materiałów inteligentnych, w szczególności materiałów MR (cieczy i elastomerów) oraz ich zastosowań w różnych dziedzinach nauki i techniki, w tym w robotyce. Na podstawie tej analizy sformułowano cele oraz tezy badawcze.

W celu zrozumienia zjawisk rządzących zachowaniem elastomerów MR opracowano dwa modele (statyczny i dynamiczny) mikromechaniczne opisujące ich zachowanie w obecności zewnętrznego pola magnetycznego. Wykorzystując oba modele, przeprowadzono symulacje numeryczne w środowisku MATLAB, analizując zachowanie elastomerów w trybie ściskania i rozciągania. Zbadano również wpływ wybranych parametrów modeli na zachowanie modelu. Wyniki potwierdziły, że sztywność materiału wzrasta wraz ze wzrostem natężenia pola magnetycznego lub indukcji magnetycznej.

Kolejne części rozprawy dotyczą głównie badań doświadczalnych w określonych trybach pracy MRE. A zatem, Autor przedstawia wyniki badań doświadczalnych kolejno w trybach: rozciągania, ściskania, pola aktywnego. W przypadku trybu rozciągania, w celu realizacji doświadczeń zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze. Wykonano próbki elastomerów i wykorzystano je w badaniach w tym trybie. Prace doświadczalne w tymże trybie pracy uzupełniają symulacje z wykorzystaniem modelu fenomenologicznego. Autor przeanalizował kilka popularnych modeli fenomenologicznych i na podstawie wyników wstępnych badań wybrał histerezowy model Dahla. Opracował algorytm identyfikacji parametrów tego modelu i zaimplementował go w środowisku MATLAB. Wyniki obliczeń wykazały istotny wzrost zarówno współczynnika sztywności, jak i tłumienia. Oryginalny model został następnie zmodyfikowany w celu uwzględnienia nieliniowych charakterystyk siła-przemieszczenie poprzez zastąpienie członu liniowego funkcją tangens. Parametry nowego modelu zostały oszacowane przy użyciu wcześniej opracowanego algorytmu. Otrzymane wartości średniego błędu kwadratowego wykazały, że zmodyfikowany model lepiej odwzorowuje dane eksperymentalne wykazujące silną nieliniowość, ale jest mniej skuteczny w przypadku danych o charakterze liniowym.

Następnie, w celu realizacji kolejnych serii doświadczeń przeprowadzono badania zachowania materiału MRE w trybie ściskania oraz w trybie pola aktywnego. Autor zaprojektował i wykonał dedykowane stanowisko badawcze oraz przeprowadzono odpowiednie testy z jego użyciem. Stanowisko badawcze umożliwia precyzyjne sterowanie natężeniem pola magnetycznego oraz siłą oddziałującą na próbkę. Dodatkowo, w środowisku FEMM 4.2 przeprowadzono symulacje magnetostatyczne w celu analizy

rozkładu strumienia magnetycznego w obrębie stanowiska badawczego (komórki magnetycznej). W trybie pola aktywnego przeprowadzono testy statyczne i dynamiczne z użyciem odpowiednio skokowych i sinusoidalnych wymuszeń. Zaproponowano model parametryczny, oparty na jednym z wcześniej opracowanych modeli mikromechanicznych, który zweryfikowano na podstawie danych eksperymentalnych. Oszacowano wartości parametrów modelu, wykazując ich zależność od natężenia pola magnetycznego. Testy ściskania przeprowadzono z użyciem trójkątnych i sinusoidalnych przebiegów wymuszających. Wyniki wykazały rosnącą nieliniowość wraz ze wzrostem amplitudy wymuszenia oraz brak istotnych zmian w zależności od częstotliwości w analizowanym zakresie wymuszeń. Opisany uprzednio model parametryczny został również wykorzystany w modelowaniu zachowania elastomeru pod wpływem wymuszeń zewnętrznych. Podsumowując, wyniki symulacji wykazały dobrą zgodność z danymi eksperymentalnymi.

Na zakończenie zaprojektowano i wykonano prototyp miękkiego chwytaka z wykorzystaniem elastomerów magnetoreologicznych oraz opracowano dedykowane stanowisko testowe. Otrzymane wyniki wykazały liniową zależność indukcji magnetycznej od natężenia prądu z minimalną lub niemal zerową histerezą. Zbadano również dynamiczną reakcję chwytaka na szybkie zmiany prądu, uzyskując czasy odpowiedzi (otwierania i zamykania przesłony) rzędu 0.1–0.2 sekundy. Chwytak poddano dalszym testom, których celem było zbadanie możliwości chwytaka w kontekście manipulowania obiektami o różnych kształtach i wymiarach. Finalnie, na podstawie wyników testów określono wartości prądu niezbędne do chwytania i zwalniania manipulowanych obiektów.