

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska

Opole, 2025-12-29

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jonasza Hartwicha pod tytułem „Zastosowanie stopu NiTi w aktuatorach oraz układach sensorycznych wykonanych z kompozytów polimerowych”

Recenzję pracy wykonano na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” Politechniki Śląskiej, dr hab. inż. Alicji Piaseckiej-Belkhat z dnia 19 listopada 2025 r. Promotorem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Sławomir Duda, a promotorem pomocniczym dr inż. Sebastian Sławski.

1. Charakterystyka pracy

Zastosowanie różnego rodzaju kompozytów do zastosowań inżynierskich jest coraz powszechniejsze. Kompozyty takie są zbrojone różnymi materiałami. Mogą być też zbrojone stopami metali. W pracy zastosowano w tym celu stop NiTi, co nie jest rozwiązaniem powszechnym. Kompozyt ten nie jest tak dobrze poznany jak typowe materiały, a w tym kompozytowe, które są najczęściej zbrojone włóknami szklanymi, włóknami węglowymi czy też kevlarami. W związku z tym podjęcie się zachowania takiego kompozytu polimerowego wzmocnionymi drutami ze stopu NiTi w aktuatorach i układach sensorycznych lokuje się we współczesnych problemach wytrzymałości nowoczesnych materiałów i ich zastosowanie w praktyce inżynierskiej. Recenzowana praca doskonale wpisuje się w to zagadnienie i pozwala lepiej zrozumieć problem. W związku z tym, problem podjęty przez Doktoranta Pana mgr inż. Jonasza Hartwicha idealnie wpisuje się w takie badania i analizy. Tytuł pracy dobrze odzwierciedla zakres pracy doktorskiej.

Całość pracy doktorskiej została przygotowana bardzo starannie. Dzięki temu bardzo łatwo pracę się czyta.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 29.12.2025
RDJMe127015112025
nr zał.

Recenzowana praca doktorska składa się z 10 numerowanych części oraz ważniejszych publikacji i referatów powiązanych z pracą dokorską, Bibliografii zawierającej 169 cytowanych pozycji literatury oraz krótkimi streszczeniami w języku polskim i angielskim.

Przed pierwszym rozdziałem umieszczono nienumerowany wykaz ważniejszych oznaczeń, który niestety nie został przygotowany prawidłowo, bo nie jest napisany w kolejności alfabetycznej. Pierwszy rozdział zatytułowany to Wstęp a drugi Wprowadzenie. Te dwa rozdziały z powodzeniem mogłyby być połączone w jeden rozdział wprowadzający w zagadnienie. W rozdziałach tych czytelnik został wprowadzony w zastosowanie stopu NiTi w zagadnieniach inżynierskich. Wykazano, że stop taki można zastosować jako materiał z pamięcią kształtu. W kolejnym trzecim rozdziale dokonano przeglądu literatury związanej z zastosowaniem stopów NiTi w aktuatorach i układach sensorycznych. Przedstawiono też terminologię związaną z właściwościami tych stopów. Całość zakończono podrozdziałem podsumowującym przegląd literatury. Takie podsumowanie jest bardzo dobrym zwyczajem. Na tej podstawie w rozdziale czwartym sformułowano cel i zakres pracy co też jest bardzo dobrym rozwiązaniem umieszczenie tych informacji po przeglądzie literatury, który właśnie wynika z tego przeglądu. W rozdziale 5 przedstawiono zastosowanie aparatury badawczej. W rozdziale tym oprócz szczegółowego opisu aparatury badawczej przedstawiono parametry zastosowanego stopu NiTi wraz z danymi materiałowymi jak i badaniami mikroskopowymi. Rozdziały 6-8 to rozdziały, w których Autor przedstawił poszczególne badania wraz z uzyskanymi rezultatami, analizą wyników oraz podsumowaniem cząstkowym dotyczącym tych rozdziałów. Rozdział 6 dotyczy analizy wpływu obciążenia mechanicznego na właściwości mechaniczne stopów NiTi co pozwoliło na ocenę możliwości wykorzystania zmian właściwości elektrycznych wewnątrz struktury kompozytowej. W kolejnym 7 rozdziale przedstawiono badania zmian właściwości stopów NiTi związanych z przemianami fazowymi. W rozdziale tym przedstawiono najpierw analizę wpływu przemiany fazowej na właściwości drutu ze stopu NiTi aby później przeanalizować zachowanie się aktuatora wykonanego na bazie drutu w osnowie PLA. W rozdziale 8 przedstawiono badania numeryczne drutów wykonanych z analizowanego stopu, tak aby w drugiej części tego rozdziału przedstawić model numeryczny aktuatora wykonanego z kompozytu w osnowie PLA ze wzmocnieniem tym drutem. W rozdziale 9 i 10 przedstawiono w sposób opisowy zarówno Podsumowanie jak i Wnioski. Informacje te można było połączyć w jeden rozdział. Przy czym wnioski powinny być wyraźnie wypunktowane, a nie są. Po części opisowej dobrze by było jakby pojawiły się w punktach wnioski wynikające z pracy.

2. Opinia o pracy odnośnie spełnienia warunków ustawowych

2.1. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Przegląd stanu wiedzy zawarty w rozdziale trzecim pozwala potwierdzić duże rozeznanie Doktoranta w problemach stanu wiedzy i aplikacji stopów NiTi w zagadnieniach inżynierskich. Przegląd literatury przedstawiony w tych pracach jest bardzo bogaty, chociaż zagadnienie to jest stosunkowo nowe przy zastosowaniu na realne konstrukcje, ale jak to przedstawiano cały czas rozwijane.

2.2. Ocena uniejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Doktorant wykazał się samodzielnością zarówno w zakresie przygotowania metodyki jak i przeprowadzenia właściwych badań i przedstawieniem uzyskanych rezultatów. Na tej podstawie Autor umiał dokonać właściwej analizy i dyskusji z przedstawieniem w pracy właściwego podsumowania.

2.3. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego

Przedstawione osiągnięcia w ramach poszczególnych rozdziałów, a w szczególności rozdziałów 6 – 8 wskazują, jak to wykazano w charakterystyce pracy, na wkład naukowy niniejszej rozprawy doktorskiej, jej innowacyjność oraz zasadność podjętego tematu. Umiał rozwiązać problem wykorzystania zmian właściwości elektrycznych drutów ze stopu NiTi w kompozytach polimerowych. To samo dotyczy wykorzystania przemian fazowych analizowanego stopu do zastosowania w aktuatorach. Całość została poparta przez analizę numeryczną struktur kompozytowych z poliaktydu wzmocnionego drutami ze stopów NiTi. Pomimo bardzo pozytywnej recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Jonasza Hartwicha, co napisano w charakterystyce pracy i najważniejszych osiągnięciach Doktoranta, kilka wątpliwości zamieściłem w charakterystyce pracy, jak również w uwagach i pytaniach dotyczących pracy.

3. Uwagi i pytania szczegółowe dotyczące pracy

Część uwag zawarłem w poprzednich punktach. Poniżej przytaczam inne zauważone błędy lub też pytania:

- Przed tytułami rozdziałów czy też podrozdziałów należy po numeracji dać kropkę, aby później można było pisać z dużej litery;
- W przypadku jednostek – nie piszemy ich w nawiasach;
- Na str. 16 napisano „mniej liczne publikacje”. Podobnie dziwnego sformułowania użyto na str. 39 – „Pomimo bogactwa literatury”;
- Czasami w ułamkach dziesiętnych zapisano kropki zamiast przecinków. Np. na str. 21;
- Od str. 27 do str. 34 cytując prace podawany jest też nie wiadomo po co tytuł cytowanej pracy. Powinno być tylko odniesienie do Bibliografii;
- W pracy zamiennie pisane są słowa „właściwości” i „własności”. Powinno być „właściwości”;
- W pracy różnie są nazywane poszczególne części pracy. Powinno być w kolejności: rozdział, podrozdział, punkt;
- W pracy różnie i niewłaściwie pisany jest znak mnożenia: „X”, „*”, „·”. Powinien być tylko i wyłącznie mnożenie w postaci kropki. Pierwszy to mnożenie wektorowe, a drugi to tylko gwiazdka;
- W części opisującej zmęczenie można znaleźć dużo nieścisłości. Po pierwsze nie można mówić o cyklicznym rozciąganiu. Rozciąganie jest statyczne. Trzeba tutaj mówić o rozciąganiu o danym współczynniku asymetrii cyklu. Tutaj mamy na ogół przebieg o charakterze tętniącym (współczynnik asymetrii cyklu $R = 0$). Nie można też mówić o stałym rozciąganiu. Bo wtedy nie mamy zmęczenia. Należy stosować określenia: stała amplituda, stały zakres, stała wartość maksymalna, stała wartość minimalna w zależności od tego jaki mamy przebieg przemieszczenia, odkształcenia czy też siły lub naprężenia;
- Na rys. 6.4 i 6.5a napisano, że to są cykle rozciągania. Można by było scharakteryzować je dodatkowo współczynnikiem asymetrii cyklu $R = 0$. W przypadku rys.6.5 ten współczynnik się zmienia. Czy Autor zastanawiał się jak? Szczególnie jest to ciekawe do jakiej wartości ten współczynnik dąży (rys.6.6b);
- Na rys. 6.13 pojawia się niespodziewanie podpis na osi rzędnej w języku angielskim w pracy napisanej w języku polskim;
- Co Autor rozumie przez określenie „zmęczenie strukturalne”, które pojawia się na str.74?
- Na rys. 6.14 napisano o osi obojętnej. W przypadku zginania powinno być napisane o płaszczyźnie obojętnej. O osi można mówić w przypadku skręcania;
- Jak należy rozumieć pojęcie: „pomiar prowadzono z stałym przemieszczeniem” – str.85?
- Na str. 85 mało ściśle napisano „w większości próbek”. Lepiej byłoby precyzyjniej, a nie opisowo napisać jaką to jest część i określić to w %;

- W pracy zamiennie pisane jest o przemieszczeniu i odkształceniu (np.str.67, a to nie jest to samo;
- Po co na str. 111 napisano „prac badawczych”? Starczyłoby „prac”;
- Na rys.112 napisano angielskie „point” zamiast „punkt” jak to jest na rys.8.3;
- Na rys.8.3 punkt 1 i 2 ma podaną wartość naprężanie. Jeżeli podana jest wartość naprężenia w efekcie mamy linię poziomą. Punkt powinien być zdefiniowany przez dwie wartości.

4. Uwagi i wnioski ogólne

Z przedstawionej charakterystyki pracy oraz uwag, czy też pytań uzupełniających dotyczących pracy, wynika, że rozprawa wskazuje na bardzo duże rozeznanie problemu postawionego w pracy w zakresie zastosowania stopów NiTi w materiałach kompozytowych do konstrukcji aktuatorów oraz układów sensorycznych. W szczególności należy zwrócić uwagę, że zdobytą wiedzę i doświadczenie Doktorant wykorzystał do zastosowania swojej wiedzy do analizy wykonanych elementów kompozytowych. Nieliczne uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Doktoranta, a także mogą być przydatne w redagowaniu kolejnych prac naukowych. Tu należy zwrócić uwagę, że znaczna część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania na przyszłość, a nie wprost krytykę recenzowanej rozprawy. W przyszłości w przypadku analizy zmęczenia Doktorant będzie musiał uzupełnić swoją wiedzę z zakresu zmęczenia lub współpracować w tym zakresie z fachowcami z tej specjalności. Natomiast do najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych pracy można zaliczyć:

- Zaproponowanie nowej metodyki badań właściwości elektromechanicznych stopów NiTi oraz ich kompozytów, z wykorzystaniem autorskiego stanowiska badawczego. Stanowi to istotny wkład w badaną tematykę, ponieważ metody prowadzenia tego typu pomiarów przedstawiane w różnych publikacjach potrafią znacząco różnić się między sobą, co ogranicza przydatność wyznaczanych w ten sposób właściwości materiałowych;
- Dokonanie ewaluacji potencjału wykorzystania stopów NiTi w układach sensorycznych, ze szczególnym uwzględnieniem zmian rezystancji elektrycznej drutu NiTi w funkcji liczby cykli obciążenia. Tego typu badania są nowe i trudne do znalezienia w literaturze;
- Przeprowadzenie badań zmian właściwości mechanicznych stopu NiTi w trakcie przemiany fazowej, z wykorzystaniem nowatorskich metod, takich jak bezpośredni odczyt temperatury bardzo cienkiego drutu NiTi przy użyciu kamery termowizyjnej oraz analiza ruchu hybrydowych kompozytów z zastosowaniem oprogramowania do analizy wizyjnej;

- Zaproponowanie metodyki wyznaczania parametrów modelu materiałowego na podstawie badań doświadczalnych cienkich drutów NiTi. Skuteczność tej metody została potwierdzona dobrą zbieżnością wyników badań eksperymentalnych i numerycznych.
- Przedstawienie propozycji schematu postępowania umożliwiającego projektowanie aktuatorów oraz układów sensorycznych pod konkretne aplikacje, z wykorzystaniem symulacji numerycznych oraz technik addytywnych.

Po analizie pracy można pracę pozytywnie ocenić w zakresie zarówno ogólnej wiedzy teoretycznej, umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, jak i znalezienia oryginalnego rozwiązania problemu naukowego. Dodatkowo należy wskazać, że recenzowana praca doktorska jest pracą interdyscyplinarną i mogłaby być ulokowana w dwóch aktualnie funkcjonujących dyscyplinach: Inżynieria Mechaniczna i Inżynieria Materiałowa. Z uwagi na to, że kwestie materiałowe są w pracy potraktowane zdecydowanie drugoplanowo, to praca najlepiej lokuje się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna tak jak została przesłana do recenzji.

5. Wniosek końcowy

Całość oceny rozprawy doktorskiej umożliwia sformułowanie wniosku o spełnienie w stopniu wystarczającym warunków określonych Ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku z późniejszymi zmianami i dopuszczenie rozprawy mgr inż. Jonasza Hartwicha pod tytułem „Zastosowanie stopu NiTi w aktuatorach oraz układach sensorycznych wykonanych z kompozytów polimerowych” do publicznej obrony pracy doktorskiej na Politechnice Śląskiej w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Z poważaniem

Tadeusz
Łagoda

Elektronicznie
podpisany przez
Tadeusz Łagoda
Data: 2025.12.29
21:40:52 +01'00'