

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda

Opole, 2025-04-24

Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

Wydział Mechaniczny

Politechnika Opolska

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jafar Amraei jako zbiór połączonych tematycznie publikacji w czasopismach naukowych pod zbiorczym tytułem - „Thermomechanical fatigue life assessment of polimer-matrix composites under temperature control and different loading regimes”

Recenzję pracy wykonano na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” Politechniki Śląskiej, dr hab. inż. Alicji Piaseckiej-Belkhat z dnia 27 marca 2025 r. Promotorem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Andrzej Katunin, a promotorem pomocniczym dr inż. Dominik Wachla.

1. Charakterystyka pracy

Trwałość zmęczeniowa elementów konstrukcyjnych analizowana jest już od wielu lat. Ponadto w ostatnim czasie do zastosowań inżynierskich coraz częściej wchodzi kompozyty. Materiał ten nie jest tak dobrze poznany jak materiały metalowe. W związku z tym podjęcie się zachowania zmęczenia termomechanicznego kompozytów z osnową polimerową z uwzględnieniem zjawiska samogrzania doskonale lokuje się we współczesnych problemach wytrzymałości nowoczesnych materiałów i ich zastosowanie w praktyce. Recenzowana praca doskonale wpisuje się w to zagadnienie i pozwala lepiej zrozumieć problem. W związku z tym, problem podjęty przez Doktoranta Pana mgr inż. Jafar Amraei idealnie wpisuje się w takie badania i analizy. Tytuł pracy dobrze odzwierciedla zakres pracy doktorskiej.

Całość pracy doktorskiej została przygotowana bardzo starannie, wyróżnia się wręcz idealną szatą graficzną. Dzięki temu bardzo łatwo pracę się czyta.

Biurowo Dziekana

wpłynęło dnia 06.05.2025
RDJMe/149/51/2025
nr zał.

Recenzowana praca doktorska składa się z dwóch części. Pierwsza część to autoreferat doktoranta napisany w języku angielskim, a druga to 8 załączonych publikacji wchodzących w skład zbioru publikacji. Sam autoreferat został zawarty na 81 stronach.

Druga część to kopie następujących publikacji:

- I. J. Amraei and A. Katunin. "Recent advances in limiting fatigue damage accumulation induced by self-heating in polymer–matrix composites". *Polymers* 14.24 (Dec. 2022), p. 5384.
- II. P. N. B. Reis, A. Katunin, and J. Amraei. "Critical analysis of the systems used to reduce self-heating in polymer composites subjected to very high cycle fatigue regimes". *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* 48 (Jan. 2025), p. 1371–1392.
- III. J. Amraei, A. Katunin, and M. Lipińska. "Numerical simulation and experimental validation of self-heating of polymer-matrix composites during low-cycle fatigue loading". *International Journal of Fatigue* 188 (Nov. 2024), p. 108510.
- IV. J. Amraei, T. Rogala, A. Katunin, A. Premanand, G. Kokot, D. Wachla, W. Kuś, M. Bilewicz, B. Khatri, and F. Balle. "Thermomechanical fatigue behavior of CF/PEKK composite under low and ultrasonic frequencies". *Composites Part B: Engineering* 281 (July 2024), p. 111539.
- V. A. Premanand, T. Rogala, D. Wachla, J. Amraei, A. Katunin, B. Khatri, M. Rienks, and F. Balle. "Fatigue strength estimation of a CF/PEKK composite through self-heating temperature analysis using cyclic bending tests at 20 kHz". *Composites Science and Technology* 243 (Oct. 2023), p. 110218.
- VI. J. Amraei and A. Katunin. "Thermomechanical fatigue life assessment of polymer-matrix composites via entropy-based damage evolution and stiffness degradation under different frequencies". *Composites Part B: Engineering* 298 (Jun. 2025), p. 112353.
- VII. J. Amraei, T. Rogala, A. Katunin, I. Barszczewska-Rybarek, J. M. Parente, and P. N. B. Reis. "Synergistic effects of graphene nanoplatelets and carbon nanofibers on thermomechanical fatigue response of modified glass/epoxy composites". Submitted to *International Journal of Fatigue*, Under Review (Dec. 2024).
- VIII. J. Amraei, A. Katunin, D. Wachla, and K. Lis. "Damage assessment in composite plates using extended non-destructive self-heating based vibrothermography technique". *Measurement* 241 (Feb. 2025), p. 115670.

Dodatkowo załączono oświadczenia współautorów o wkładzie merytorycznym w poszczególne prace. Na podstawie złożonych oświadczeń można wyróżnić wkład doktoranta w poszczególne prace i jednocześnie Jego dorobek, który jest podstawą ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora. Prace te są dowodem na wkład doktoranta w rozwój nauki, który to wkład syntetycznie został przedstawiony, jak to wspomniano wcześniej, w autoreferacie. Współautorów poszczególnych prac jest od dwóch (w dwóch pracach) aż do dziesięciu. Należy jedynie zwrócić uwagę, że praca VII nie powinna być załączona bo nie została opublikowana, a jest jedynie w recenzji.

Autoreferat podzielony jest na 7 numerowanych rozdziałów. Dodatkowo na początku umieszczono między innymi wprowadzenie, listę publikacji dotyczącej doktoratu, oświadczenia o wkładzie autora, wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń. Autoreferat zakończony jest nienumerowanym rozdziałem Literatura, w którym zawarto spis literatury dotyczący rozpatrywanego zagadnienia w liczbie 126. Po spisie literatury na końcu umieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim co jest dobrym zwyczajem. Brakuje jedynie tytułu w języku polskim.

Pierwszy rozdział zatytułowany to wprowadzenie do pracy to streszczenie przeglądu literatury wraz z krótkim opisem genezy powstania pracy oraz teza, cel i zakres pracy. Zdaniem recenzującego lepiej by było aby teza, cel i zakres pracy wynikał z przeglądu literatury i niejako zakończeniem tego rozdziału. Jednak dwie prace, które są podstawą doktoratu (I i II) dotyczą właśnie tego problemu, czyli stanu wiedzy z tego zakresu. Drugi rozdział dotyczy modelowania samogrzania. Kolejny trzeci rozdział to analizy zmęczenia w różnych warunkach obciążeń. W rozdziale czwartym przedstawiono zastosowanie różnych metody wyznaczania trwałości zmęczeniowej. W następnym rozdziale piątym przeanalizowano zastosowanie nanowęgla na zwiększenie trwałości zmęczeniowej. W kolejnym rozdziale szóstym zwrócono uwagę na zastosowanie samonagrzewania w nieniszczącej analizie uszkodzeń. Tutaj należy zwrócić uwagę, że wszystkie rozdziały kończą się cennymi wnioskami w ostatnich podrozdziałach właściwych rozdziałów. W ostatnim numerowanym rozdziale siódmym przedstawiono podsumowanie i zdefiniowano wnioski wynikające z pracy doktorskiej a dokładnie z autoreferatu i załączonych publikacji, które są podstawą wystąpienia o uzyskanie stopnia doktora. W rozdziale tym przedstawiono podsumowującą analizę, wyróżniono znaczną liczbę wniosków oraz wnioski do dalszych badań co jest bardzo wartościowe. Wydaje się, że Autor mógłby wyróżnić kilka zasadniczych wniosków wynikających z pracy.

2. Opinia o pracy odnośnie spełnienia warunków ustawowych

2.1. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Przegląd stanu wiedzy zawarty częściowo w autoreferacie oraz załączonych pracach I i II pozwala potwierdzić duże rozeznanie Doktoranta w problemach termomechanicznego zmęczenia materiałów kompozytowych. Przegląd literatury przedstawiony w tych pracach jest bardzo bogaty, chociaż zagadnienie to jest stosunkowo nowe przy zastosowaniu na realne konstrukcje.

2.2. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Doktorant wykazał się samodzielnością zarówno w zakresie przygotowania jak i przeprowadzenia właściwych badań materiałów kompozytowych. Pomimo, że publikacje naukowe, które są podstawą pracy doktorskiej nie są samodzielne to nie podważa to samodzielnego prowadzenia badań, Świadczy jedynie o umiejętności pracy w zespole. Jedynie praca, gdzie jest aż 10 współautorów trochę się wyłamuje z tego schematu bo jest już zbyt duża liczba współautorów. Na szczęście w dorobku jest tylko taka jedna praca.

2.3. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego

Przedstawione osiągnięcia w ramach poszczególnych rozdziałów wskazują, jak to wykazano w charakterystyce pracy, na wkład naukowy niniejszej rozprawy doktorskiej, jej innowacyjność oraz zasadność podjętego tematu. Umiał rozwiązać problem samogrzania się kompozytów. Analizy zostały przeprowadzone dla szerokiego zakresu trwałości zmęczeniowej to znaczy zakresu małej i dużej liczby cykli. Pomimo bardzo pozytywnej recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Jafar Amraei, 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:

- w rozdziale drugim autoreferatu napisano o naprężeniach zginających. Powinno być raczej mowa o naprężeniach normalnych pochodzących od zginania. Określenie użyte przez Autora jest niewłaściwe
- na rysunku 2.7, 4.3, 4.5 napisano o naprężeniu. Powinno to być raczej amplituda naprężenia a może wartość maksymalna? Tego nie wiadomo.
- charakterystyki zmęczeniowe np. rys.3.1, 3.4, 4.4, 4.8, 4.9, 4.10 przedstawiono w układzie Wohler $S\text{-log}(N)$. Tutaj lepiej spisuje się układ Basquin $\log(S)\text{-log}(N)$. Dlaczego przyjęto taki model?
- na str.33 autoreferatu napisano o dynamicznym module Younga. Proszę to lepiej wyjaśnić. Bo zmęczenie i dynamika to nie jest to samo. Dynamika to udarność lub wpływ dużej

częstotliwości na zmęczenie. Tradycyjnie przyjmuje się, że zmęczeniowy moduł Younga jest równy zmęczeniowemu. Na przykład w modelu Ramberg-Osgood.

- W pracy i w poszczególnych publikacjach zbyt często stosowane są liczne skróty. Stosowanie tych skrótów utrudnia szybkie czytanie i zrozumienie pracy. Zdaniem recenzującego powinno ich być zdecydowanie mniej.

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 trwałości zmęczeniowej materiałów kompozytowych. W szczególności należy zwrócić uwagę, że zdobytą wiedzę i doświadczenie Doktorant wykorzystał do zastosowania swojej wiedzy do analizy wykonanych na elementach 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 znaczona część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania na przyszłość, a nie wprost krytykę recenzowanej rozprawy.

Do najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych pracy można zaliczyć:

- Opracowanie fizykalnego modelu uwzględniającego wpływ samorozgrzania na kompozyty poddane obciążeniom zmęczeniowym. Model ten umożliwia symulację rozkładu temperatury na całej grubości materiału, co nie jest możliwe przy bezpośrednim pomiarze za pomocą kamery termowizyjnej.
- Wprowadzenie nowego, bezwymiarowego i skalowalnego współczynnika opartego na koncepcji szybkości rozpraszania ciepła. Współczynnik ten pozwala na przenoszenie wyników testów zmęczeniowych z przeprowadzanych w kontrolowanej temperaturze przy wykorzystaniu impulsowego schematu obciążenia z wymuszonym chłodzeniem powietrznym, do warunków z naturalnym chłodzeniem powietrzem.
- Rozszerzono zakres zastosowania koncepcji szybkości rozpraszania ciepła do określania krytycznych przedziałów temperatury samorozgrzania w warunkach, co może stanowić kryterium uszkodzenia w przyszłych badaniach zmęczeniowych metodą ultradźwiękową.
- Opracowano i zweryfikowano krzywe *S-N* w odniesieniu do standardowych krzywych *S-N* odpowiadających finalnemu zniszczeniu. Takie podejście pozwoliło na ciągłe monitorowanie

procesu degradacji zmęczeniowej – od początkowej inicjacji uszkodzeń aż do całkowitego zniszczenia – przewyżczając ograniczenia klasycznych ocen bazujących na krzywych *S-N*.

- Określenie zdolności nanostruktur węglowych o wysokiej przewodności cieplnej do redukcji efektów cieplnych wywołanych samorozgrzaniem. Pozwoliło to na skuteczną kontrolę temperatury samorozgrzania.
- Opracowanie dwuetapowego algorytmu bazującego na koncepcjach granicy efektywnego termogramu i maksymalnego stosunku temperatur. Algorytm ten umożliwia systematyczny dobór optymalnego termogramu spośród dużego zbioru dla każdego scenariusza uszkodzenia.

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. Jafar Amraei pod tytułem „Thermomechanical fatigue life assessment of polimer-matrix composites under temperature control and different loading regimes” do publicznej obrony pracy doktorskiej na Politechnice Śląskiej w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Jednocześnie niniejszym wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy co mam nadzieję, że potwierdzą po samej obronie, która jest też bardzo istotna.

Z poważaniem

