

Białystok, 12.09.2022 r.

prof. dr hab. inż. Michał Kuciej
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Koziarskiej

pt. Uwzględnienie odkształcenia plastycznego przy wyznaczaniu trwałości w jednoosiowym stanie obciążenia

promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda

promotor pomocniczy: dr inż. Andrzej Kurek

wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Opolskiej pismem nr RNDIM/143/2022 z dnia 8 lipca 2022 r.

1. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska została przedstawiona na 120 stronach maszynopisu formatu A4 w języku polskim. Praca składa się z 8 rozdziałów, wstępu, wniosków i podsumowania oraz wykazu literatury. Zamieszczono w niej 62 rysunki, 44 tabele i 65 cytowanych w pracy pozycji bibliograficznych. Na początku rozprawy został również umieszczony wykaz ważniejszych oznaczeń.

Głównym celem pracy doktorskiej autorstwa mgr inż. Justyny Koziarskiej było przeprowadzenie szczegółowej analizy charakterystyk zmęczeniowych (rozciąganie-ściskanie oraz zginanie) dla wybranej grupy stali i stopów aluminium.

W *pierwszym* rozdziale pt. „*Przegląd podstawowych charakterystyk zmęczeniowych*” Autorka przedstawiła podstawowe informacje, wprowadzając czytelnika w teoretyczne zagadnienia, które są w dalszej roboczej części pracy wykorzystywane. Dość dokładnie i przejrzysto zostały opisane charakterystyki zmęczeniowe naprężeniowe (Wohlera, Basquina), odkształceniowe (Mansona-Coffinea-Basquina, Langer, Kandila, Kurka-Łagody), naprężeniowo-odkształceniowe (Ramberga-Osgooda) oraz energetyczne.

W rozdziale zatytułowanym „Przegląd literatury uwzględniający odkształcenie plastyczne” autorka zamieściła nie tyle przegląd literatury, lecz różne definicje, tj. pętli histerezy, logarytmiczne odkształcenie względne, model małych odkształceń, odkształcenia skończone, składowe tensora odkształceń, jednoosiowy rozkład odkształcenia i naprężenia w warunkach rozciągania-ściskania oraz zginania według modelu sprężystego i sprężysto-plastycznego. Doktorantka podczas prezentacji powyższych zagadnień odwołuje się do pozycji literaturowych.

W kolejnym rozdziale zamieszczono główne cele pracy, jakie postawiła sobie Pani mgr J. Koziarska. Głównym celem badawczym jest przeprowadzenie analizy charakterystyk zmęczeniowych dla warunków ściskania-rozciągania oraz zginania dla wybranych materiałów konstrukcyjnych. Założono, że analiza uzyskanych wyników ma dać odpowiedź dotyczącą możliwości wiarygodnego zastosowania badań metodą zginania wahadłowego w zastępstwie bardziej kosztochłonnej badań zmęczeniowych rozciąganie-ściskanie.

W rozdziale zatytułowanym „Uwzględnienie gradientu odkształcenia i naprężenia” w pierwszym podrozdziale został zamieszczony przegląd literatury dotyczący tematyki zawartej w tytule rozdziału, a w kolejnym przedstawiono algorytm wyznaczenia gradientów naprężenia i odkształcenia w przypadku zginania wahadłowego. W ostatniej części rozdziału zamieszczono informacje dotyczące wyznaczenia błędu średniokwadratowego.

W następnym rozdziale doktorantka, bazując na 9 materiałach, których stałe materiałowe oraz właściwości zmęczeniowe zostały zaczerpnięte z literatury, wyznaczyła charakterystyki zmęczeniowe (krzywe naprężenia oraz odkształcenia cyklicznego) bazując na teorii małych i skończonych odkształceń. Ten rozdział można potraktować jako preludium do kolejnych, dotyczących autorskich badań i analiz.

W rozdziale zatytułowanym „Prace badawcze” autorka podała informacje o materiałach wybranych do badań, są to stal 16Mo3 i stop aluminium 6082-T6. Następnie zostały opisane przeprowadzone badania (badania niskocyklowe rozciąganie-ściskanie, próby statycznego rozciągania, zginanie wahadłowe), rodzaje badanych próbek oraz stanowiska badawcze. Wyniki powyższych badań wyżej już wymienionych dwóch materiałów zostały zamieszczone w tabelach. W kolejnej części tego rozdziału doktorantka wyznaczyła charakterystyki zmęczeniowe dla modeli Basquina, Łagody-Kurka, Mansona-Coffina-Basquina, Langerera oraz Kandila. Autorka udowodniła, że dla analizowanego stopu aluminium 6082-T6 najbardziej odpowiednim jest model odkształceniowy zaproponowany przez Łagodę i Kurka. Natomiast model Langerera w tym przypadku nie powinien być stosowany.

Kolejny rozdział zatytułowany „*Analiza wyników badań*” dotyczy porównania wyników badań własnych oraz zaczerpniętych z literatury. Materiałem, który został zbadany (rozciąganie-ściskanie, wahadłowe zginanie) w Katedrze MiPKM Politechniki Opolskiej, oprócz już wcześniej opisanych (16Mo3 i 6082-T6), była stal 10 HNAP. Inne analizowane materiały, to stale 30CrNiMo3, SM45, mosiądz MO58 i stop aluminium 2017A-T4. Dla powyższych materiałów wykonano kompleksową analizę porównawczą, której wynikiem jest wskazanie najbardziej odpowiednich modeli odkształceniowych. Podobnie jak we wcześniejszych analizach najlepszym okazał się model Łagody-Kurka oraz Kandila, a nieodpowiednim Langerera.

W ostatnim rozdziale pt. „*Analiza uzyskanych wyników zginania z uwzględnieniem gradientu*” zamieszczono porównanie analizowanych wcześniej charakterystyk zmęczeniowych materiałów z wynikami badań, w których został uwzględniony gradient naprężenia. Pod tym kątem została przeanalizowana wymieniona wyżej grupa materiałów. Efektem tej analizy jest zależność uwzględniająca gradient naprężenia oraz wyznaczenie charakterystyki zmęczeniowej.

Kolejną część pracy stanowi podsumowanie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników, a także krótka informacja dotycząca dalszych aktywności naukowej planowanej przez Autorkę.

Pracę doktorską kończy wykaz literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

2. Ocena pracy

Tematyką naukową dotyczącą wytrzymałości zmęczeniowej konstrukcji zajmuje się wiele ośrodków badawczych na świecie. Zmęczenie materiału w konstrukcjach może spowodować katastrofalne i nieodwracalne skutki. Obecnie, kiedy tworzone są nowe materiały inżynierskie, również powinny być ciągle ulepszane metody badawcze pozwalające na precyzyjne określenie ich właściwości. Taką kolejną cegiełką odnośnie do znanych już metod badawczych wnosi omawiana praca.

Uważam, że poruszony w rozprawie doktorskiej temat badawczy jest interesujący i ważny z naukowego i inżynierskiego punktu widzenia.

Główne zalety przedstawionej do recenzji pracy to:

- 1) Udowodniono, że dla określonej grupy materiałów rozpatrywanych w pracy, do analizy zmęczeniowej można wykorzystać teorię dużych odkształceń.
- 2) Na podstawie wyników i analiz wykazano, że dla badanych w pracy materiałów nie występują znaczące różnice w trwałości zmęczeniowej wynikające ze sposobu

obciążenia elementu, więc proponowane metody zginania wahadłowego przy kontrolowanym odkształceniu oraz zginania wahadłowego przy kontrolowanym momencie zginającym można z powodzeniem stosować.

- 3) Wykazano, że dla analizowanych materiałów amplitudy odkształcenia i naprężenia uzyskane na podstawie próby zginania wahadłowego oraz zaproponowanego w pracy modelu były większe lub równe amplitudom uzyskanym w próbie rozciągania i ściskania. Najbardziej wiarygodne wyniki obliczeń uzyskano przy uwzględnieniu gradientu naprężenia.
- 4) Wykonanie szczegółowej analizy charakterystyk zmęczeniowych dla dużej grupy materiałów.
- 5) Współautorstwo artykułów naukowych związanych z tematyką rozprawy doktorskiej.

3. Uwagi i pytania

Po dogłębnej analizie manuskryptu pojawiły się następujące spostrzeżenia:

- 1) Równania i wzory zamieszczone w pracy mają różne wielkości i rodzaje czcionki.
- 2) Tytuły niektórych rozdziałów wymagają sprecyzowania, np. 7, 8 i 9.
- 3) Na str. 21 zamieszczono informację o zmianie kąta β , którego na wskazanym rys. 6 nie zaznaczono.
- 4) Jak dokładnie został wyznaczony (jego wartość) wyznacznik zmęczeniowego naprężenia a ?
- 5) W rozdziale 6 do analizy dobrano określony zestaw materiałów. Jaki był „klucz” ich wyboru?
- 6) W wielu miejscach w pracy stosowany jest zwrot „aluminium 6082-T6”. Prawidłowo powinno być stosowane „stop aluminium...”.
- 7) Na str. 46 numer tabeli w tekście to 5 – jest 22; na str. 47 w tekście zostały podane błędna numeracja tabel, powinno być: 6 – jest 5 oraz 7 – jest 10.
- 8) Na str. 52 zamieszczono błędne odwołanie do rysunku. Powinno być 19 – jest 20.
- 9) W tekście sporadycznie znajdują się niezręcznie sformułowane zdania, np. str. 56: „Ponizej możemy na zdjęciu przedstawić jak wygląda próbka stali 16Mo3 po próbie wahadłowego zginania”.
- 10) Jak zinterpretować wartości zamieszczone w tabelach 14 i 16? Tabele mają ten sam tytuł. Czy to są inne badania?
- 11) W jaki sposób zostały zinterpretowane i zamieszczone dane na wykresie (rys. 25) „zginanie dla stali 16Mo3” odnosząc się do tab. 15?

- 12) Dlaczego nie był analizowany model MCB przy zginaniu dla stali 16Mo3?
- 13) W pracy brakuje komentarza do wykresów (rys. 28 i 29) dotyczących analizowanych charakterystyk zmęczeniowych.
- 14) W rozdziale 8 na str. 67 podano nazwę mosiądzu MO58 (zgodnie z PN), natomiast dalej powyższy materiał jest oznaczony nazwą CuZn40PB2 (DIN).
- 15) W pracy bardzo często używany jest termin np. „uwzględnienie gradientu”. Oczywiście z kontekstu badań i treści pracy można się domyślić, że chodzi o gradient naprężenia.
- 16) Na str. 109 oraz 110 zamieszczono w tekście błędną numerację rysunków (rys. 50).
- 17) W podsumowaniu zamieszczono sformułowanie „w przypadku niektórych materiałów... można wykorzystać teorię...”. Czy istnieją lub można opracować/wyznaczyć grupy materiałów, w których możliwe będzie stosowanie tych teorii?

Powyższe uwagi i pytania mają charakter informacyjny oraz dyskusyjny i nie powinny wywrzeć znaczącego wpływu na ogólną bardzo dobrą ocenę przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej.

4. Podsumowanie

Recenzowana praca dowodzi znacznej wiedzy doktorantki w dyscyplinie naukowej *inżynieria mechaniczna*. Zarówno przedstawiona praca, jak i publikacje Doktorantki w czasopismach naukowych, udowadniają jej umiejętność samodzielnego prowadzenia dalszej pracy naukowej.

Uważam, że rozprawa doktorska pt. *Uwzględnienie odkształcenia plastycznego przy wyznaczeniu trwałości w jednoosiowym stanie obciążenia* autorstwa Pani mgr inż. Justyny Koziarskiej **spełnia wymagania** stawiane przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2021 poz. 478 z późn. zm.) i **może stanowić podstawę o ubieganie się przez Nią o stopień naukowy doktora nauk inżynieryjno-technicznych** w dyscyplinie naukowej *inżynieria mechaniczna*. Wnoszę o dopuszczenie Jej do obrony publicznej.



