

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jana Seydy

pt. „**Obserwacja mechanizmu inicjacji, propagacji i kumulacji uszkodzeń oraz prognozowanie trwałości zmęczeniowej w zakresie cyklicznych obciążeń wieloosiowych**”

Podstawą prawną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Bydgoskiej prof. dr hab. inż. Dariusza Borońskiego z dnia 11 czerwca 2024 roku informujące o powołaniu przez Radę ww. dyscypliny mojej osoby na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jana Seydy.

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Problematyką dotyczącą szacowania trwałości zmęczeniowej różni badacze zajmują się od ponad stu lat. Możliwość przewidywania czasu pracy elementów konstrukcyjnych poddanych obciążeniom zmiennym pozwala na uniknięcie poważnych skutków awarii zarówno w aspekcie ekonomicznym, jak i bezpieczeństwa użytkowników. Ilość czynników, które mają bezpośredni wpływ na zmęczenie materiału jest bardzo duża. Są to między innymi takie czynniki jak geometria elementów, rodzaj materiału, typ obciążenia, częstotliwość pracy czy temperatura. W literaturze można spotkać bardzo dużo podejść do szacowania trwałości zmęczeniowej, co zaowocowało powstaniem wielu modeli i algorytmów, które często mają zastosowanie wyłącznie do wybranego typu materiału czy też geometrii badanych elementów. Prawidłowy dobór konkretnego modelu obliczeniowego jest bardzo często zależny od mechanizmów jakie są odpowiedzialne bezpośrednio za pojawienie się uszkodzeń w materiale w postaci pęknięć. Analiza przełomów zmęczeniowych, jak również sposobów inicjacji oraz w dalszym kroku propagacji pęknięć (w skali makro) stanowi często punkt wyjścia takiego doboru. Jednakże proces inicjacji pęknięć obserwowanych w skali makro należy raczej traktować już jako proces propagacji, ponieważ zjawiska zachodzące na poziomie mikro (pojedyncze ziarna) bardzo często cechują się zupełnie innymi zjawiskami. Prawidłowe rozpoznanie tych mechanizmów na poziomie mikro lub nano (odziaływanie pojedynczych dyslokacji) jest tym samym niezwykle ważne, a zarazem bardzo trudne w procesie badawczym

Jak już wspomniano na wstępie prawidłowe szacowanie trwałości zmęczeniowej jest niezwykle ważne i nadal zostawia wiele obszarów badawczych do dalszych analiz i rozwoju, szczególnie przy występowaniu obciążeń wieloosiowych. Recenzowana rozprawa doktorska

Pana mgr inż. Jana Seydy stanowi połączenie zagadnień dotyczących analizy mechanizmów związanych z inicjacją pęknięć w elementach (próbekach) poddanych złożonym obciążeniom z szacowaniem trwałości zmęczeniowej. W analizie mechanizmów związanych z inicjacją i dalszą propagacją pęknięć uwzględniono zarówno zjawiska widoczne na powierzchni, jak i wewnątrz próbek poprzez obserwację przełomów zmęczeniowych z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej, co wpisuje się w światowe trendy badawcze. W świetle powyższego stwierdzam, że można uznać podjęcie tematu rozprawy za w pełni uzasadnione, a podejmowaną tematykę za aktualną pod względem poznawczym i praktycznym.

Rozprawa mgr inż. Jana Seydy nie jest typowym opracowaniem monograficznym, lecz składa się z cyklu siedmiu współautorskich publikacji tworzących tematycznie dość spójną całość. Doktorant opracował również krótki opis, w którym przedstawiony został bardzo syntetycznie problem badawczy oraz cel i zakresy badań jakie zostały zawarte w publikacjach. Dodatkowo przedstawione zostało uzasadnienie spójności cyklu publikacji, które stanowią recenzowaną rozprawę doktorską, zakończone krótkim podsumowaniem i wnioskami. Opracowanie to zawiera również wykaz bibliograficzny publikacji, na podstawie których został przygotowany ww. opis. Wymienione pozycje literaturowe są jak najbardziej aktualne i tematycznie dobrane poprawnie. Jednakże z punktu widzenia recenzowanej rozprawy doktorskiej istotniejszym są przypisy literaturowe użyte w ocenianym cyklu publikacji. Zamieszczona w przedstawionych siedmiu pracach bibliografia nie jest bezpośrednio zbieżna z opisem wprowadzającym, zawiera bowiem wiele innych pozycji literaturowych, ale co jest najważniejsze i godne podkreślenia zawiera odwołanie do bardzo wielu bieżących prac z ostatnich 5 lat, co świadczy o aktualności poruszanej w rozprawie tematyki. W rozprawie umieszczono również streszczenia pracy w wersji polskiej i angielskiej.

Doktorant przedstawił także opis (w kilku przypadkach bardzo krótki) własnego wkładu merytorycznego w procesie przygotowywania poszczególnych publikacji wchodzących w skład cyklu rozprawy doktorskiej oraz pozostałego dorobku naukowego w liczbie ośmiu współautorskich publikacji. Przedstawione zostały również oświadczenia wszystkich współautorów siedmiu głównych publikacji, które w sposób hasłowy określają ich udział w przygotowaniu tych publikacji. Stanowi to pewne uzupełnienie opisu, jaki przedstawił doktorant, dotyczącego jego bezpośredniego wkładu w opracowanie poszczególnych publikacji. Jednakże zestawienie oświadczeń, w szczególności doktoranta i promotora, w których zakresy wykonanych przez nich prac się pokrywają, w większości publikacji utrudnia jednoznaczne określenie bezpośredniego (autorskiego) wkładu doktoranta w przygotowanie poszczególnych publikacji, co jest w przypadku opracowań współautorskich niezwykle ważne (ocenie podlega przecież praca doktoranta, a nie współautorów). W dalszej części tej recenzji zwrócona zostanie na to szczególna uwaga przy analizie każdej z załączonych publikacji.

Przedstawiony do oceny cykl siedmiu współautorskich publikacji tworzących rozprawę doktorską obejmuje cztery publikacje w czasopiśmie z wydawnictwa Elsevier (dwa w *International Journal of Fatigue* i po jednej w *Procedia Structural Integrity* oraz *Materials Science and Engineering A*), jedną publikację w czasopiśmie *Materials* z wydawnictwa MDPI oraz dwie publikacje z wydawnictwa Matec *Web of Conferences*, które są najprawdopodobniej efektem udziału w konferencjach (12th International Conference on Multiaxial Fatigue and Fracture oraz 34th Scientific Conference: Problems of Working Machines Development). Z pewnością umiejętności opublikowania wyników badań w tak prestiżowych czasopiśmie, jak

International Journal of Fatigue czy Materials Science and Engineering A jest dużym i godnym podkreślenia osiągnięciem. W każdej z tych publikacji zawsze współautorem jest promotor (w dwóch wyłącznie z doktorantem). W czterech publikacjach współautorem jest prof. dr hab. inż. Dariusz Skibicki (w trzech wyłącznie z doktorantem i promotorem). Jedynie w jednej publikacji współautorem jest promotor pomocniczy w osobie dra inż. Andrzeja Skibickiego wraz z doktorantem, promotorem oraz trzema innymi współautorami. Oczywiście doktorant nie ma obowiązku publikowania z promotorem pomocniczym, a wsparcie czy też pomoc w realizacji doktoratu mogła przejawiać się w inny sposób, jednakże jest to dość zastanawiające. Z pewnością brakuje w tak przygotowanej rozprawie doktorskiej przynajmniej jednej samodzielnej publikacji, która bez wątpliwości rozwiązałaby wątpliwości co do udziału i samodzielności doktoranta, ale jednocześnie obecny system publikowania raczej oczekuje pracy zespołowej, co może stanowić w sposób oczywisty w tym przypadku pewien tak zwany konflikt interesów. Ze wstępnej analizy rozprawy doktorskiej wynika również, że sześć z załączonych publikacji powstała w latach 2019-2021 (jedna w 2019, jedna w 2020, cztery w 2021). Następnie ostatnia publikacja z cyklu opublikowana została w 2024.

Dwie pierwsze publikacje z zaprezentowanego cyklu z niezrozumiałych przyczyn (możliwy błąd) przedstawione są w odwrotnej kolejności niż sugeruje to data ich powstania. Ma to o tyle istotne znaczenie, że w **pracy nr 2**, będącej jak wspomniano wcześniej pracą „pokonferencyjną”, zaprezentowane zostały wyniki badań dla próbek wykonanych z trzech materiałów poddanych różnym stanom obciążenia (rozciąganie ze ściskaniem, skręcanie oraz różne ich kombinacje). Natomiast w **pracy nr 1** wykorzystane zostały te same wyniki badań rozszerzone o dodatkowy czwarty materiał E355 (bazowe pochodzenie wyników eksperymentalnych jest z publikacji: Pejkowski Ł., Skibicki D.: Stress-strain response and fatigue life of four metallic materials under asynchronous loadings: Experimental observations, International Journal of Fatigue, Vol. 128, 2019 zacytowanej poprawnie w obu pracach). Problematiczne jest jednak to, że w pracy nr 1 na rysunkach 1, 2 i 3 z drobnymi zmianami użyte są w dużej ilości dokładnie te same zdjęcia, co w pracy nr 2, bez przypisu. Ponieważ praca nr 2 względem pracy nr 1 ma mniejszy zakres analiz wydaje się, że jej traktowanie jako osobnej pozycji w tym cyklu jest niezasadne i powinno się je traktować jako jedną publikację. Autor w opisie określa swój udział w tych pracach poprzez wykonanie analiz mikroskopowych topografii powierzchni próbek oraz identyfikacji kierunków inicjacji małych pęknięć zmęczeniowych. Odrębną kwestią stanowią wykonane zadania wynikające z oświadczeń współautorów. W przypadku omawianych prac nr 1 i 2 wynika, że doktorant wykonał te same zadania (z wyłączeniem badań mikroskopowych), co nie pozwala na ocenienie jakości wykonanych zadań. Wymaga to bezwzględnie jasnego określenia (dla wszystkich załączonych w cyklu publikacji), co dla przykładu kryje się pod hasłem „wizualizacja” w wykonaniu doktoranta, a co w przypadku promotora. Przeprowadzona analiza inicjacji i dalszej propagacji pęknięć zmęczeniowych wykonana została bardzo szczegółowo, co pozwoliło na sformułowanie wniosków, że w przypadku materiałów PA38-T6, E235 i E355 ścinanie było tym dominującym mechanizmem odpowiedzialnym za zniszczenie, gdyż zaobserwowane pęknięcia rozwijały się w kierunkach płaszczyzny maksymalnego odkształcenia ścinającego, co potwierdzają zamieszczone zdjęcia. Inną sytuację zaobserwowano w przypadku materiału 1.4301, gdzie pęknięcia finalnie rozwijały się w kierunku maksymalnego naprężenia normalnego. Wątpliwość budzi stan powierzchni próbek,

na których wyraźnie widać ślady toczenia, które poprzez generowanie na powierzchni karbów mogły (z pewnością wpływały) wpływać na stan naprężenia na powierzchni próbki.

W **pracy nr 3** doktorant przedstawił analizę rozkładu naprężeń ścinających, przyjmując cztery modele tj. sprężysty, plastyczny, z części środkowej przekroju oraz Chaboche, dla którego niezbędne parametry wyznaczono na podstawie badań przy cyklicznym rozciąganiu i ściskaniu. Dane eksperymentalne pochodziły z tej samej publikacji, z której skorzystano już w pracach nr 1 i 2. W takim przypadku próbki użyte do badań prawdopodobnie nie mogły być polerowane jak wskazano w opisie na stronie 20₁₋₄, gdyż zdjęcia przedstawione w pracy nr 1 i 2 wyraźnie temu przeczą. Ma to o tyle istotny wpływ, że przy wyznaczaniu parametrów do modelu Chaboche powinno nam zależeć na jak najbardziej wzorcowym przygotowaniu próbek w celu eliminacji potencjalnych czynników powodujących zwiększenie rozrzutów danych eksperymentalnych.

Kolejna **praca nr 4** stanowi rozwinięcie koncepcji analizy związanej z określaniem miejsc inicjacji pęknięć oraz kierunków ich dalszej propagacji w celu prawidłowego ustalenia mechanizmu zniszczenia. Do tego celu doktorant użył metody wykorzystującej tworzenie replik za pomocą cienkich folii octanowych. Metoda ta nie jest metodą nową i raczej nie jest powszechnie stosowaną ze względu na złożony proces ich tworzenia, ale zarazem pozwala otrzymać wierne odtworzenie badanej powierzchni z bardzo dużą dokładnością, co autor przedstawił w tej pracy. Kolejną korzyścią używania replik jest możliwość ich dłuższego przechowywania. Na potrzeby realizacji tej publikacji doktorant przeprowadził nowe badania zmęczeniowe próbek o tych samych geometriach, jakie zostały użyte w poprzednich pracach. Zestawienie badań zmęczeniowych zaprezentowano na rysunku nr 5 wraz z połączeniem wyników z innej publikacji, w której doktorant nie jest współautorem. Jest to o tyle niefortunne (w celach porównawczych może ma sens), że nie jest wiadomo, które wyniki są doktoranta, to znaczy ile faktycznie badań zrealizował. Przeprowadzona analiza replik ukazała bardzo ciekawe wyniki rozwoju pęknięć w zależności od poziomu i rodzaju obciążenia. Wykazano, że mechanizmem odpowiedzialnym za uszkodzenie próbek były dominujące naprężenia w płaszczyźnie ścinającej.

Praca nr 5 (z błędną datą publikacji – ukazała się w 2021) jest kontynuacją badań przedstawionych w pracy nr 4. Niestety podobnie jak w przypadku prac nr 1 i 2 można zauważyć użycie tych samych rysunków bez przypisu literaturowego (rys. 2, rys. 3 – drobna zmiana kolorystyki oraz rys. 4). Korzystanie z wyników zawartych w innych pracach nie jest niczym nagannym, szczególnie w obrębie własnych badań, ale należy to wyraźnie podkreślić w pracy. Użyte w pracy odniesienia na stronie 222-27 wskazują bardziej na to, co w poprzednich pracach zostało zrobione. Główną częścią tej publikacji jest bardzo dobrze przeprowadzona analiza fraktograficzna przelomów próbek. Na podstawie analiz replik powierzchni zlokalizowane zostało miejsce inicjacji pęknięcia głównego, by następnie w jego obrębie dokonać obserwacji, w wyniku których stwierdzono brak klasycznego eliptycznego kształtu ułożenia pęknięcia, lecz ułożony frontalnie zbiór małych pęknięć w kierunku w głąb materiału (co można zauważyć na rys 6). Zauważone zostały również wtrącenia AlFeSi (w wyniku przeprowadzenia analizy spektrograficznej EDS), których oddziaływanie określono jako nieznaczące w procesie inicjacji pęknięć i dalszej propagacji jako małych pęknięć. Warto tutaj podkreślić, że wykonane zdjęcia cechują się bardzo dużą dokładnością i jakością wykonania, co nie zawsze jest łatwe do otrzymania.

Podsumowaniem całej rozprawy doktorskiej jest **praca nr 6** (w opisie brak nazwiska współautora mgr inż. Mateusza Chorobińskiego). Jest ona chyba najważniejszą publikacją w całym tym cyklu, będąc jednocześnie najbardziej rozbudowaną i kompletną pracą. Przedstawiono w niej zestawienie wszystkich dotychczasowych badań zmęczeniowych materiału PA38-T6 oraz pogłębioną analizę fraktograficzną przełomów zmęczeniowych, udowadniając, że dominującym mechanizmem zniszczenia było ścinanie (pęknięcia rozwijały się wzdłuż płaszczyzny maksymalnego odkształcenia) intensyfikowane występowaniem naprężeń w kierunku normalnym. Jest to zgodne z chociażby modelem Fatemi-Socie, na co zwrócono uwagę w pracy. Trwałości obliczeniowe były jednak zawsze przeszacowane, szczególnie dla wyższych poziomów obciążenia. Na podstawie analizy replik zostało to wytłumaczone tym, że przy wyższych obciążeniach małe pęknięcia łączą się ze sobą, ale nie tworzą jednego dominującego pęknięcia. Natomiast przy niższych poziomach obciążenia pojawiające się pęknięcia łączą się w jedno dominujące (propagujące) pęknięcie. Jest to bardzo istotne spostrzeżenie (wniosek), ponieważ na tej podstawie możliwy jest lepszy dobór modelu obliczeniowego. Zasugerowano również, że na bazie analiz rozwoju małych pęknięć będzie można opracować metodę szacowania trwałości, co byłoby niezwykle interesujące.

Praca nr 7 jest uzupełnieniem podstawowego cyklu publikacji i zawiera badania próbek wykonanych ze spieku renu. Dzięki przeprowadzonym badaniom wyznaczona została krzywa zmęczeniowa tego materiału, której wcześniej w literaturze nie publikowano. Wykonane zostały szczegółowe analizy zglądów metalograficznych, które to w połączeniu z analizą fraktograficzną przełomów pozwoliły na określenie między innymi płaszczyzn łupliwości.

Pozostały dorobek naukowy wskazuje na dużą aktywność doktoranta ukierunkowaną w głównej mierze na analizę metalograficzną.

Niezależnie od wskazanych kilku uwag krytycznych (wymagających uzupełnienia i wyjaśnienia) z przedstawionego powyżej omówienia wynika, że oceniana rozprawa spełnia na poziomie wystarczającym wymagania stawiane przed doktorantem przy opracowywaniu tego typu rozpraw doktorskich. Na podkreślenie zasługuje to, że Autor w swojej pracy wykorzystuje nowoczesną aparaturę badawczą, a jakość przeprowadzonych analiz fraktograficznych jest bardzo wysoka. Analizując wszystkie przedstawione do oceny prace, można zauważyć że wyróżniającą się umiejętnością doktoranta jest przygotowywanie zglądów metalograficznych, replik oraz analiz otrzymanych na tej podstawie obrazów struktur i przełomów. Warte podkreślenia jest również to, że na podstawie określonej charakterystyki mechanizmów zniszczenia możliwy jest precyzyjniejszy dobór odpowiedniego modelu obliczeniowego (nie zawsze tworzenie nowych modeli, dedykowanych często wyłącznie do jednego wybranego wariantu obciążenia czy materiału, jest niezbędne).

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawiona charakterystyka rozprawy zawiera wystarczające, moim zdaniem, przesłanki do sformułowania oceny. Treść rozprawy jest zgodna z jej tematem. Podjęty temat jest ważny zarówno z poznawczych, jak i praktycznych względów. Należy podkreślić, że przedstawiona tematyka rozprawy doktorskiej wnosi wkład w rozwój wiedzy dotyczącej analizowanego zagadnienia, przez co wypełnia istniejącą lukę informacyjną, dlatego podjęte działania badawcze uważam za w pełni uzasadnione. Biorąc pod uwagę zakres tematyczny rozprawy,

obejmujący analizę szeroko rozumianych właściwości mechanicznych, a także zastosowane metody badawcze, można zakwalifikować ją do dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Na podstawie przedstawionej powyżej charakterystyki pracy uważam, że niezbędnym jest szersze uzasadnienie zakresów wykonanych prac przez doktoranta wynikających z załączonych oświadczeń wszystkich współautorów tych prac (według opisanych powyżej przykładów). Ze względu na brak chociażby jednej autorskiej publikacji konieczne jest rozwianie wszelkich wątpliwości co do samodzielności realizacji badań naukowych przez doktoranta. Dodatkowo proszę o wyjaśnienie uwag, które dotyczą wykorzystywania tych samych rysunków i zdjęć w różnych publikacjach.

Drugą grupę sformułowanych uwag stanowią te o charakterze merytorycznym, które mogą stanowić zaczątek dyskusji prowadzącej do lepszego zrozumienia poruszanej tematyki. W tym miejscu chciałbym zwrócić uwagę na kilka kwestii:

- a) Czy jakość powierzchni próbek przedstawiona na zdjęciach w pracach 1 i 2 nie miała wpływu na rodzaj mechanizmu zniszczenia?
- b) Jakie przyjęto kryterium decydujące o zniszczeniu próbek podczas badań zmęczeniowych przedstawionych w pracach 1 i 2 (szczególnie dla materiału PA38-T6) oraz w pracach późniejszych?
- c) Jaka ilość próbek została użyta do badań zmęczeniowych dla poszczególnych poziomów obciążenia w pracy 4?
- d) Dlaczego nie przeprowadzono analizy statystycznych wyników badań zmęczeniowych?
- e) W jaki sposób wykonywany był otwór w próbkach do badań zmęczeniowych? Czy kontrolowana była jakość powierzchni oraz jaka była faktyczna grubość ścianki na długości badawczej?
- f) Czy taki sam mechanizm zniszczenia próbek opisany w rozprawie doktorskiej wystąpiłby, gdyby obciążenie odbywało się przy kontrolowanej sile?
- g) W pracy nr 4 przy opisie procesu badawczego użyto sformułowania, że repliki wykonywane były z dwóch stron próbki. Proszę wyjaśnić, co należy rozumieć pod tym stwierdzeniem w przypadku, gdy do badań użyte były próbki o przekroju okrągłym. Na ilu próbkach wykonywane były repliki?
- h) Czy i gdzie w zastosowaniach inżynierskich wykorzystuje się elementy wykonane prawie w 100% z renu?

Analiza recenzowanej pracy pozwala sformułować jej **pozytywną ocenę**, w szczególności w zakresie przeprowadzonych badań eksperymentalnych oraz wyników ich analizy. Zaproponowany zakres badań odpowiadał postawionemu celowi przedsięwzięcia. Doktorant wykazał się właściwym przygotowaniem dla realizacji postawionych zadań badawczych, w tym ogólną wiedzą i umiejętnościami, które umożliwiły przeprowadzenie weryfikacji założonych celów badawczych. Stwierdzam, że Pan mgr inż. Jan Seyda zrealizował zadeklarowane cele pracy, a uzyskane wyniki uznaję za wkład w rozwój prac badawczych związanych z analizą mechanizmów odpowiedzialnych za zniszczenie w elementach poddanych cyklicznym obciążeniom wieloosiowym. Godną podkreślenia jest duża aktywność publikacyjna doktoranta. Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa:

- spełnia wymóg wykazania ogólnej wiedzy teoretycznej Autora w uprawianej dyscyplinie,
- wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Autora pracy naukowej,
- spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania przez Autora zagadnienia naukowego.

3. Wniosek końcowy

Całość oceny rozprawy doktorskiej mgra inż. Jana Seydy pt. „Obserwacja mechanizmu inicjacji, propagacji i kumulacji uszkodzeń oraz prognozowanie trwałości zmęczeniowej w zakresie cyklicznych obciążeń wieloosiowych” umożliwia sformułowanie wniosku o spełnieniu warunków określonych ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Wobec powyższego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej „Inżynieria mechaniczna” Politechniki Bydgoskiej.

Gregorz Piatak

