

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda

Opole, 2025-03-19

Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

Wydział Mechaniczny

Politechnika Opolska

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominiki Płaczek - „Analiza połączeń spawanych różnoimiennych materiałów z zastosowaniem cienkościennych łączników zgrzewanych wybuchowo Al/Fe”

Recenzję pracy wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” Politechniki Bydgoskiej, dra hab. inż. Łukasza Muślewskiego z dnia 29 stycznia 2025 r. Promotorem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Dariusz Boroński, a promotorem pomocniczym dr inż. Paweł Maćkowiak.

1. Charakterystyka pracy

Trwałość zmęczeniowa elementów konstrukcyjnych analizowana jest już od wielu lat. Do bardziej złożonych problemów należy trwałość zmęczeniowa złączy spawanych. Natomiast jeszcze więcej trudności napotyka odpowiednie projektowanie połączeń konstrukcji składający się z różnych materiałów. Tutaj jednym z rozwiązań jest zgrzewanie wybuchowe dwóch materiałów a później dospawanie do nich właściwych elementów konstrukcyjnych. W ten sposób uzyskuje się odpowiednie złącza. Zarówno projektowanie, technologia, wykonanie oraz zapewnienie odpowiedniej trwałości zmęczeniowej takich skomplikowanych łączników nie jest zagadnieniem łatwym. Recenzowana praca doskonale wpisuje się w to zagadnienie i pozwala lepiej zrozumieć problem. W związku z tym, problem podjęty przez Doktorantkę Panią mgr inż. Dominikę Płaczek idealnie wpisuje się w takie badania i analizy. Tytuł pracy dobrze odzwierciedla zakres pracy doktorskiej.

Praca doktorska wyróżnia się wręcz idealną szatą graficzną. Dzięki temu bardzo łatwo pracę się czyta. Jedynym mankamentem pracy jest strona tytułowa. Na niej umieszczono tytuł napisany wielkimi literami. Przez to końcówka jest mało czytelna „AL/FE”. Pomimo wielkich liter ten fragment powinien być zapisany jak „Al/Fe”. Wtedy było by oczywiste czego dotyczy praca.

Cała praca doktorska została zawarta na 175 stronach. Wielkość ta nieznacznie przekracza rozmiar standardowej liczby stron dla tego rodzaju prac. Praca podzielona jest na 8 numerowanych rozdziałów. Dodatkowo na początku umieszczono wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń. Dobrze, że symbole i oznaczenia zostały zapisane oddzielnie bo mają inną naturę. Praca zakończona jest nienumerowanym rozdziałem „Literatura”, w którym zawarto spis literatury w liczbie 150. Po spisie literatury na końcu umieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim wraz z tytułami co jest dobrym zwyczajem.

Pierwszy rozdział zatytułowany „Wstęp” to wprowadzenie do pracy 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. Przegląd literatury zawarty w rozdziale drugim podzielono na 6 podrozdziałów. Taki podział pozwala już po przeczytaniu tytułu podrozdziału na zapoznanie się jakie treści będą tam umieszczone. Pierwszy podrozdział dotyczy opisu spajania różnoimiennych materiałów. W drugim podrozdziale opisano zastosowanie zgrzewanych wybuchowo łączników w połączeniach spawanych Al/Fe. W kolejnym trzecim podrozdziale opisano proces spawania połączeń z użyciem łączników zgrzewanych wybuchowo. Następnie opisano właściwości mechaniczne łączników zgrzewanych wybuchowo. Bogaty podrozdział 5 opisuje modelowanie połączeń spawanych poddanych obciążeniom zmęczeniowym. W podrozdziale tym zacytowano prace, które nie są pracami oryginalnymi i są tam uproszczenia lub nawet błędy. Szkoda, że Autorka nie sięgnęła do oryginalnych prac np. Neubera. Jednak recenzent rozumie, że nie jest to łatwe. Praca ta napisana jest zresztą w języku niemieckim i nie jest ogólnodostępna. Całość rozdziału zakończona jest wnioskami do własnych badań. Program tych badań został przedstawiony w rozdziale trzecim. W rozdziale czwartym opisano materiały i próbki do badań. Rozdział ten nazwano „Obiekt badań” i opisano w nim poszczególne materiały bazowe, materiał zgrzewany wybuchowo i połączenia spawane. Następnie w kolejnym rozdziale przedstawiono metody badawcze oraz stanowiska badawcze do właściwych badań. Najbogatszy rozdział w pracy doktorskiej to rozdział szósty. W rozdziale tym przedstawiono wyniki badań i ich analizę. Rozdział ten jest bardzo bogaty i rozpatruje szereg analiz związanych z właściwymi badaniami eksperymentalnymi. Siódmy rozdział jest nijako

kontynuacją rozdziału szóstego, w którym zawarto analizę wyników, która częściowo została wykonana już we wcześniej wspomnianym rozdziale. W ostatnim numerowanym rozdziale ósmym zdefiniowano wnioski. W rozdziale tym przedstawiono podsumowującą analizę, wyróżniono 9 wniosków oraz wnioski do dalszych badań co jest bardzo wartościowe.

2. Opinia o pracy odnośnie spełnienia warunków ustawowych

2.1. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Przegląd stanu wiedzy zawarty w rozdziale 2 pozwala potwierdzić duże rozeznanie Doktorantki w problemach spajania różnoimiennych materiałów oraz zgrzewania wybuchowego materiałów. Następnie przedstawiono proces spawania połączeń Al/Fe z użyciem wcześniej uzyskanych łączników zgrzewanych. Następnie opisano właściwości mechaniczne takich łączników oraz modelowanie połączeń spawanych poddanych obciążeniem zmęczeniowym. Przegląd literatury nie jest bardzo bogaty, ale też nie może być ponieważ takie łączniki zastępujące połączenia śrubowe są zagadnieniem stosunkowo nowym przy zastosowaniu na realne konstrukcje. Całość przeglądu literatury dotyczącą wiedzy teoretycznej podsumowano w oddzielnym podrozdziale, w którym sformułowano wnioski do badań własnych.

2.2. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Doktorantka wykazała się samodzielnością zarówno w zakresie przygotowania jak i przeprowadzenia właściwych badań zarówno statycznych jak i zmęczeniowych uzyskanych złączy spawanych. Umiała przeanalizować problemy różnoimiennych złączy spawanych z zastosowaniem zgrzewania wybuchowego. Szczegółowe badania eksperymentalne wykonane przez doktorantkę zaprezentowano jak to wspomniano w rozdziałach 4 i 5 pracy doktorskiej, a później w rozdziałach 6 i 7, gdzie przedstawiono uzyskane wyniki badań i ich analizę. Te części zajęły zdecydowanie większą część pracy doktorskiej.

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.

Pomimo ogólnie pozytywnej recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Dominiki Płaczek, co napisano w charakterystyce pracy i najważniejszych osiągnięciach Doktorantki, kilka wątpliwości zamieściłem w charakterystyce pracy, jak również w uwagach i pytaniach dotyczących pracy. Zdecydowana większość tych uwag nie wpływa na jakość merytoryczną pracy, ale gdyby Doktorantka uniknęła tych błędów, pracę czytałoby się jeszcze lepiej.

3. Uwagi i pytania szczegółowe dotyczące pracy

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

- Badania zmęczeniowe przeprowadzono przy różnych współczynnikach asymetrii cyklu (R), czyli przy różnych wartościach średnich. W pracy nie odniesiono się do tego problemu. Proszę to wyjaśnić;
- na str.12 Autorka napisała o łączeniu materiałów o odmiennych właściwościach mechanicznych łączonych materiałów. Co rozumie Pani pod pojęciem „odmienne właściwości”?
- na str. 27 napisano o krzywych trwałości zmęczeniowej. Nie jest to najlepsze określenie bo są to charakterystyki sporządzone z łamanych odcinków prostych. Lepsze jest określenie „charakterystyki trwałości zmęczeniowej”. Dodatkowo przy definicji tych charakterystyk nie zwrócono uwagi, że dla napreżeń na osi rzędnej w przypadku złączy spawanych stosuje się zakres, a nie amplituda. W związku z tym podana wartość FAT to zakres. Na rysunku jest to już prawidłowo zapisane;
- pod wzorem (2.2) na str. 28 napisano „dla trwałości $N = 2 \cdot 10^6$ ” Powinno być dodane na końcu słowo „cykli”;
- na str.31 Autorka napisała, że dla elementów konstrukcyjnych o grubości większej niż 5 mm według zaleceń Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa promień zaokrąglenia wynosi 1mm. Niestety nie jest to do końca prawda. Jest to słuszne wyłącznie dla spawanych złączy spawanych, gdzie rzeczywisty promień wynosi 0. Tutaj należy odnieść się do oryginalnej pracy Neubera lub np. prac recenzującego. Zresztą przy tej okazji nasuwa się pytanie jakie były rzeczywiste promienie przejścia w złączach spawanych zarówno dla złączy stalowych jak i aluminiowych. Czy były wykonane takie pomiary? Jest to istotne później przy modelowaniu numerycznym;

- na str. 39 napisano o czystym aluminium. Lepiej by było użyć określenia „technicznie czyste aluminium”;
- na str. 43 napisano o przygotowaniu podłoża do wykonania laminatu zgrzewanego. Napisano, że w pierwszym etapie ziemia jest ubijana i wyrównywana. Raczej odwrotnie wyrównywana i ubijana;
- w pracy Autorka zamiennie stosuje określenia: podpunkty, podrozdziały. Powinno być w miarę większej dokładności stosowany następujący podział: rozdziały, podrozdziały, punkty i podpunkty;
- na str. 57 umieszczono wzór (5.4) oraz po przekształceniach ten sam wzór na rys.5.8b. Przekształcenie to jest błędne. Poza tym w pierwszym przypadku mowa jest o amplitudzie odkształcenia plastycznego, a w drugim całkowitego. Powinno być plastycznego;
- na str. 68 napisano w tabeli 5.5 o ciśnieniach obciążających próbkę. Ciśnienie przy badaniach zmęczeniowych stosuje się jako obciążenie wewnętrzne w próbkach rurowych. Ponadto ciśnienie jest skalarem. Powinno być naprężeniem normalnym lub jeszcze lepiej siłą;
- w pracy napisano, że wygenerowano mapy. To nie jest najlepsze określenie, gdyż dotyczy geografii. Lepiej mówić o warstwicach;
- na str. 71 powiedziano o odczytach naprężeń. Nie jest to właściwe, gdyż naprężania są wielkością obliczeniową a nie mierzalną. Lepiej by było napisać o wyznaczanych naprężeniach;
- na str. 94 napisano, że wyniki przedstawiono w skali logarytmicznej. To sugeruje charakterystykę Wohlera. Na rysunku zastosowano układ podwójnie logarytmiczny Basquina. Warto by to napisać i przytoczyć wzór. Wtedy nie byłoby wątpliwości z interpretacją;
- w pracy nie podano co było kryterium zniszczenia, czyli kiedy uznano, że próbka uległa zmęczeniu i ma daną liczbę cykli do zniszczenia;
- wzorem (6.1) wprowadzono określenie definiowane jako różnice procentową. Tutaj pojawiają się dwa problemy. Po pierwsze jest to względna różnica wyrażona w procentach. Ponadto zapis jest niefortunny, bo przy zapisie $\Delta\sigma_a$ sugeruje, że jest to zakres amplitudy. Lepiej by zastosować oznaczenie często stosowane w takim przypadku jako $\delta\sigma_a$;
- w różnych miejscach pracy Autorka zamiennie podaje wartość maksymalną naprężania (str.102-rys.6.25), wartość FAT (czyli zakres naprężenia), amplitudy naprężenia σ_a (wzór 7.1) i naprężenie ogólnie σ (np. str.103₂). Praca byłaby bardziej przejrzysta gdyby przyjęto jeden sposób oznaczenia;
- na str. 109 mowa jest o wykreślaniu na rys. 110 naprężeń rzeczywistych. My nie wiemy jakie są naprężenia rzeczywiste. Stosujemy różne modele aby do nich się zbliżyć. W związku z tym

zastosowane określenie nie jest prawidłowe. Zawsze są to naprężenia obliczeniowe wyznaczone w różny sposób;

- w pracy w niektórych miejscach zastosowano niewłaściwie zapis liczb w postaci komputerowej (tabela 6.19, 6.20, 6.21, 7.8) lub czysto z podstaw matematyki $y=f(x)$ (rys.7.16);
- proszę o wyjaśnienie rys.7.19-7.21. Powinna to być najbardziej istotna część pracy. Na jednym wykresie przedstawiono wartość FAT (zakresy) i wartości maksymalne. Takie porównanie można wprost zastosować tylko dla badań odzerowo tętniących. W związku tym takie porównanie wprost jest trudne lub wręcz niewłaściwe. Ponadto nie podano co oznaczają poszczególne linie czerwone (ciągłe i przerywane).

Ponadto w pracy można znaleźć nieliczne błędy interpunkcyjne lub stylistyczne, które w niniejszej recenzji nie będę już przywoływał.

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 badania i analiz połączeń spawanych różnoimiennych. W szczególności należy zwrócić uwagę, że zdobytą wiedzę i doświadczenie Doktorantka wykorzystwała do zastosowania swojej wiedzy do analizy wykonanych na tej podstawie łączników zgrzewanych wybuchowo. Dotyczy to zarówno uwag merytorycznych nawet niektórych dosyć istotnych, jak i redakcyjnych, których jest bardzo mało w tym zakresie zrealizowanych przez mgr inż. Dominikę Płaczek. Uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Doktorantki, 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:

1. Zaproponowana technologia łączenia umożliwiła uzyskanie połączeń spawanych z cienkościennym łącznikiem zgrzewanym wybuchowo.
2. Wykonano bardzo bogate badania eksperymentalne zarówno materiałów bazowych jak i łączników oraz złączy
3. Wykonano badania numeryczne spawanych łączników

4. Zamodelowano charakterystyki zmęzeniowe
5. Wyznaczono właściwości statyczne i zmęzeniowe na podstawie wykonanych badań eksperymentalnych
6. Wykonano analizę uzyskanych wyników badań
7. Sformułowano wnioski wynikające z badań i kierunki dalszych badań

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. Dominiki Płaczek pod tytułem „Analiza połączeń spawanych różnoimiennych materiałów z zastosowaniem cienkościennych łączników zgrzewanych wybuchowo Al/Fe” do publicznej obrony pracy doktorskiej na Politechnice Bydgoskiej w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Z poważaniem



