



POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
I ARCHITEKTURY

Prof. dr hab. inż. Tomasz Sadowski, D.h.c.
Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Mechaniki Ciała Stałego
ul. Nadbystrzycka 40
20-618 Lublin

Lublin, 26.05.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Prochenka
pt. „Badanie stalowych połączeń spawanych laserowo w warunkach
obciążenia dynamicznego”.

1. Przedmiot i podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Prochenka pt. „Badanie stalowych połączeń spawanych laserowo w warunkach obciążenia dynamicznego”, opracowana w Zakładzie Technologii i Eksploatacji Uzbrojenia Instytutu Techniki Uzbrojenia na Wydziale Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa WAT.

Promotorem rozprawy jest płk. rez. dr hab. inż. Jacek Janiszewski, a funkcję promotora pomocniczego pełni dr inż. Judyta Sienkiewicz. Przedstawiona rozprawa dotyczy problematyki z zakresu badania stalowych połączeń spawanych w warunkach obciążeń quasi-statycznych i dynamicznych, więc mieści się w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Przedmiotem oceny, zgodnie z art.187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, jest sprawdzenie, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi prośba Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego (pismo z dnia 21.12.2022 r.).

2. Opis ogólny rozprawy

Rozprawa doktorska została przedłożona w formie wydruku i liczy 223 strony. Rozprawa datowana jest na rok 2022 i została napisana w języku polskim, składa się z wykazu oznaczeń, wprowadzenia, 6 rozdziałów oraz wniosków końcowych i załącznika w postaci tabel z wynikami pomiarów geometrii próbek materiałowych.

We wprowadzeniu scharakteryzowano tematykę pracy oraz motywację do podjęcia próby rozwiązania problemów z zakresu badań dynamicznych złączy spawanych laserowo.

Rozdział 1 to opis wyników analizy literaturowej dotyczącej charakterystyki stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych oraz wykorzystania wiązki laserowej do jej łączenia. W rozdziale przedstawiono również metody badań materiałów w warunkach dużych szybkości odkształcenia, w tym technikę badań z wykorzystaniem dzielonego pręta Hopkinsona oraz problematykę badań struktur energochłonnych. Rozdział kończy się podsumowaniem i wnioskami wynikającymi z przeglądu literaturowego.

Rozdział 2 to sformułowanie celu, tezy pracy oraz zakresu zadań do realizacji.

Rozdział 3 to charakterystyka materiałów i metod badań własnych obejmująca opis wytypowanych do badań pięciu gatunków stali: Strenx S700MC, Docol 800DP, Docol 1000DP, Docol 1200M i Docol 1500M. W tym rozdziale przedstawiono również opis procesu przygotowania próbek materiałowych na rozciąganie oraz miniaturowych, kolumnowych absorberów energii.

Rozdziały czwarty, piąty i szósty to główne części rozprawy, dotyczące omówienia wyników badań własnych złączy spawanych laserowo oraz badań miniaturowych absorberów energii mechanicznej.

Rozdział 4 prezentuje wyniki badań złączy spawanych z wykorzystaniem takich metod jak: ocena wizualna, badanie mikrostruktury, rozkład mikrotwardości oraz badanie wytrzymałości złączy spawanych dla poziomów szybkości odkształcenia: 10^{-3} s^{-1} , 10^0 s^{-1} oraz 10^3 s^{-1} .

Rozdział 5 przedstawia wnioski cząstkowe, które sformułowano na podstawie interpretacji wyników przedstawionych w poprzednich rozdziałach.

Rozdział 6 dotyczy analizy wyników badań miniaturowych kolumnowych absorberów energii, gdzie dokonano oceny mikrotwardości złączy spawanych oraz analizy badań zgniatania absorberów w warunkach quasi-statycznego i dynamicznego obciążenia.

Po rozdziale 6 przedstawiono wnioski końcowe oraz załącznik w postaci tabel z wynikami

pomiarów geometrii próbek materiałowych.

Po zapoznaniu się z rozprawą stwierdzam, że przyjęty w rozprawie ogólny układ i sposób uporządkowania treści są czytelne i logiczne, rozprawa jest napisana poprawną polszczyzną i jej strona graficzna nie budzi istotnych zastrzeżeń. Po lekturze rozprawy uważam, że Autor wykazał się niezbędną ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena doboru tematu i postawionych celów

Rozprawa doktorska prezentuje wyniki badań stalowych połączeń spawanych laserowo w warunkach obciążeń quasi-statycznych i dynamicznych.

Oceniając dobór tematu i postawionych celów chciałbym podkreślić, że tematyka w podjętej rozprawie doktorskiej jest aktualna i wpisująca się w istotny w ostatnich latach trend zastosowania stali AHSS w procesie wytwarzania pojazdów drogowych i szynowych, a między innymi struktur energochłonnych, decydujących o bezpieczeństwie pasażerów. Stale AHSS wyróżniają się wysoką wytrzymałością umożliwiającą zapewnienie odpowiednio wysokiego poziomu bezpieczeństwa biernego pojazdu, wysokiej podatności na recykling oraz najbardziej korzystnego stosunku masy do kosztów produkcji pojazdu klasy średniej. W procesie produkcji pojazdów istotne jest uzyskanie wysokojakościowych połączeń spawanych oraz struktur energochłonnych, które będą gwarantować odpowiednio wysoki poziom bezpieczeństwa biernego pojazdu. Potrzebne jest wykonanie badań tych połączeń i struktur w zakresie obciążeń dynamicznych. Tytuł rozprawy jest jednoznaczny i zrozumiały, dobrze oddaje problem naukowy przedstawiony w rozprawie. Temat jest nośny i ważny, dlatego ciągle poszerzanie wiedzy w tym zakresie i starania naukowców oraz praktyków w kierunku poszukiwania efektywnych metod oceny odpowiedzi dynamicznej rozpatrywanych elementów zasługują na uznanie.

Mając powyższe na uwadze uważam, że podjęty przez Autora rozprawy temat jest aktualny i interesujący zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia. Podobnie rzecz ma się z tezą i celem naukowym pracy, które są oryginalne. Podsumowując ten fragment recenzji uważam, że dobór tematu i postawionego celu zasługują na pozytywną ocenę.

3.2. Ocena wartości naukowej rozprawy

Zrealizowane przez Autora rozprawy badania doświadczalne zostały zaplanowane i wykonane prawidłowo. Na podstawie lektury rozprawy stwierdzam, że nie mam istotnych zastrzeżeń do metodologii zrealizowanych badań, które zostały dostatecznie opisane i udokumentowane. Ponadto szczegółowe protokoły i raporty z przeprowadzonych badań zostały przez Autora umieszczone w załączniku, co jest moim zdaniem korzystne z punktu widzenia lektury rozprawy, a także z punktu widzenia czytelników, którzy chcieliby bardziej szczegółową zaznajomić się z uzyskanymi rezultatami.

Ponadto sposób przedstawienia uzyskanych rezultatów badań w formie graficznej w postaci licznych tabel, wykresów, rysunków i zdjęć (w tym mikroskopowych za pomocą mikroskopu elektronowego) jest bardzo czytelny.

Podoba mi się konsekwentne realizowanie zaplanowanego przez Autora planu badań. Bardzo wartościowe są moim zdaniem przedstawione badania dynamicznej odpowiedzi złączy spawanych laserowo, które były kluczowe dla zaprojektowania kolumnowych absorberów energii mechanicznej w kolejnych krokach badawczych. Dokonana została krytyczna analiza uzyskanych rezultatów eksperymentów, w której Autor wyciągnął wartościowe wnioski.

Uważam, że do głównych osiągnięć naukowych Autora można zaliczyć:

- opracowanie i wdrożenie metodyki badań właściwości mechanicznych złączy spawanych laserowo w warunkach testu Hopkinsona na rozciąganie,
- udowodnienie odmiennej mechanicznej odpowiedzi złączy spawanych w warunkach obciążeń quasi-statycznych i dynamicznych,
- analiza wpływu czynników technologicznych procesu spawania laserowego na odpowiedź mechaniczną złączy spawanych rozciąganych z różnymi szybkościami odkształcenia,
- identyfikację różnic odpowiedzi mechanicznej kolumnowych absorberów energii mechanicznej, poddanych obciążeniom quasi-statycznym i dynamicznym.

Niewątpliwym atutem jest wykazanie przez Autora możliwości zastosowania praktycznego uzyskanych wyników w projektowaniu struktur energochłonnych wykonywanych ze stali AHSS z użyciem procesu spawania laserowego w pojazdach drogowych i szynowych. Dość obszerny zbiór wyników doświadczalnych zaprezentowany w rozprawie może stanowić cenne źródło danych referencyjnych do przeprowadzania analiz wytrzymałościowych struktur energochłonnych (w szczególności analiz numerycznych umożliwiających optymalizację konstrukcji absorberów energii mechanicznej pod kątem masy

i zdolności do pochłaniania energii uderzenia) oraz symulacji procesów tłoczności stalowych półfabrykatów połączonych wiązką lasera.

Dlatego, moim zdaniem, osiągnięte rezultaty mają spory potencjał do ich opublikowania w prestiżowych czasopismach naukowych z tej dziedziny lub w monografii naukowej.

Podsumowując ten fragment recenzji pod względem merytorycznym wartość naukową rozprawy oceniam wysoko.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Recenzowana rozprawa doktorska jest cenną inicjatywą, bo nie tylko porządkuje dotychczasową wiedzę w zakresie badania stalowych połączeń spawanych w warunkach obciążeń quasi-statycznych i dynamicznych, ale przede wszystkim dostarcza wartościowych rezultatów dla krajowego i międzynarodowego środowiska naukowego i inżynierskiego. Podczas lektury rozprawy nasunęły mi się jednak następujące uwagi krytyczne, uwagi dyskusyjne, sugestie, komentarze i pytania do Autora rozprawy:

- 1) Rozprawa doktorska ma wybitnie charakter doświadczalny. Autor deklaruje, że cel naukowy pracy został osiągnięty przez realizację ponad 580 testów doświadczalnych. To bardzo dużo. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach i tabelach. Badania przeprowadzono na 5 gatunkach stali, zużyto 15 arkuszy blach 1000 mm x 2000 mm. Z załącznika tabel z wynikami pomiarów na końcu rozprawy wynika, że liczby próbek dla danej serii zawierały się w granicach od 2 do 5-ciu. Czy zdaniem Autora nie są to za małe liczby próbek? Dają nam one jedynie jakościowe oszacowanie wszystkich badanych parametrów w rozprawie wpływających na odpowiedź dynamiczną złączy i miniaturowych absorberów energii. W przypadku absorberów energii mechanicznej testy wykonano na 2 próbkach dla każdego wariantu obciążenia i gatunku stali zastosowanej do jego wykonania.
- 2) Szkoda, że Autor nie pokusił się w rozprawie o elementarną analizę statystyczną uzyskanych rezultatów badań. Czy rezultaty uzyskane w rozprawie można uznać za statystycznie reprezentatywne? Czy liczba próbek jest statystycznie wystarczająca? Zdaniem recenzenta wyznaczenie średniej arytmetycznej, odchylenia standardowego i współczynnika zmienności dałoby szersze informacje o przeprowadzonych testach.

- 3) W rozdziale 4 w badaniach połączeń spawanych na zdjęciach z mikroskopu Keyence (rys. 54, 55, 61,62, 68,69, 75 -78, 83-86) nie podano zastosowanych powiększeń. Inne są powiększenia dla zglądów pokazujących cała spoinę, a inne dla poszczególnych stref złącza spawanego. Czy wyniki prac na mikroskopie optycznym są wystarczające? Zdaniem recenzenta warto byłoby się pokusić o wykonanie obrazów z mikroskopu skaningowego i określenie, czy nie powstają w procesie spawania wady (mikrouszkodzenia) technologiczne, które - zwłaszcza przy obciążeniach dynamicznych - mogą mieć istotny wpływ na odpowiedź dynamiczną złączy i absorberów energii.
- 4) Czy zastosowany twardościomierz Qness 10 CHD Master umożliwiła tylko wyznaczenie twardości materiału metodą Vickersa? Bardziej zaawansowane urządzenia do nano- i mikroindentacji umożliwiają również oszacowanie lokalnych modułów Younga, a więc uzyskanie rozkładów tego parametru w całym obszarze złącza spawanego i materiału rodzimego. Sugeruję w przyszłych badaniach oszacować zamiany tej cechy sprężystej w złączu.
- 5) Bardzo istotny jest problem efektu skali przy badaniu absorberów energii mechanicznej w trakcie zgniatania dynamicznego. Zasadniczym pytaniem jest czy zastosowany kształt absorbera jest stosowany w przemyśle transportu drogowego lub kolejowego. Czy istnieją jakiegokolwiek badania wykonane na rzeczywisty absorberach energii i czy można je jakościowo porównać z wynikami uzyskanymi w rozprawie doktorskiej?
- 6) Po lekturze pracy odnosi się wrażenie, że „Bibliografia” została sporządzona niestarannie. W wielu pozycjach stwierdzam liczne braki dotyczące: nazwy czasopisma, numeru wolumenów i liczne braki podania stron artykułów. Szkoda, że Autor cytuje wyłącznie jedną swoją pracę autorską opublikowaną w Materials. Czy oznacza to, że osiągnięcia Autora będą publikowane po obroni rozprawy doktorskiej?

Przedstawione powyżej uwagi nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę jej merytorycznej zawartości. Moim zdaniem rozprawa doktorska posiada spory potencjał, aby opublikować ją jako cykl artykułów, co byłoby korzystne dla dalszego rozwoju naukowego Autora.

5. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Pawła Prochenka pt. „Badanie stalowych połączeń spawanych laserowo w warunkach obciążenia dynamicznego” rozwiązuje postawione zadanie naukowe dotyczące poszukiwania korelacji pomiędzy jakością procesu spawania laserowego cienkich blach ze stali o podwyższonej wytrzymałości a wytrzymałością dynamiczną połączenia spawanego. Stwierdzam, że sformułowane w rozprawie cele są zasadne, oryginalne i zostały osiągnięte.

W tym miejscu chciałbym również zaznaczyć, że uwagi krytyczne zawarte w punkcie 4 recenzji nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy. Zostały podane w celu dyskusji i uporządkowania przedstawionej treści z nadzieją, że w przyszłości zostaną uwzględnione przez Autora podczas przygotowywania monografii oraz artykułów do czasopism naukowych z tej tematyki. Mając powyższe na uwadze można uznać rozprawę za przygotowaną na dobrym poziomie. Moim zdaniem Autor rozprawy wykazał się wystarczającą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, a także bardzo dobrą umiejętnością programowania i prowadzenia badań doświadczalnych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora oraz potwierdza jego umiejętność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej a także spełnia obecnie obowiązujące wymagania ustawowe dotyczące nadania stopnia doktora. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Jednocześnie proponuję wyróżnienie dla recenzowanej pracy doktorskiej.

Tomasz Szaboński