



Politechnika Wroclawska

dr hab. inż. Leszek Łatka, prof. uczelni

Wrocław, dn. 29.11.2023 r.

Katedra Przeróbki Plastycznej, Spawalnictwa i Metrologii

Wydział Mechaniczny

Politechnika Wroclawska

ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Zadorożnego pt.
**„Minimalizacja odkształceń cieplnych w wyniku inteligentnej
optymalizacji rozmieszczenia punktów mocowań w obszarze
komponentu spawanego”**

promotor: dr hab. inż. Mirosław Szczepanik, prof. PŚ

Podstawa opracowania recenzji:

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma o sygnaturze RDIMe.512.27.2023 z dnia 27.09.2023 r., które zostało podpisane przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej, Prof. dr hab. inż. Ewę Majchrzak.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Zadorożnego pt. „Minimalizacja odkształceń cieplnych w wyniku inteligentnej optymalizacji rozmieszczenia punktów mocowań w obszarze komponentu spawanego” została zredagowana jako monografia licząca 129 stron. Zawiera ona spis treści, sześć merytorycznych rozdziałów, spis literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.



Przedłożona do recenzji dysertacja ma nieco odmienną strukturę niż standard pracy naukowej. Autor po krótkim wprowadzeniu, które ma dość ogólny charakter, przechodzi od razu do przedstawienia celu pracy oraz tezy rozprawy. Następnie w rozdziale 2. Doktorant opisuje zagadnienia związane ze spawalnictwem, szczególnie w kontekście naprężeń i odkształceń wywołanych tym procesem technologicznym. Autor również porusza kwestie dotyczące przeciwdziałaniu odkształceniom trwałym, ze szczególnym uwzględnieniem metod prostowania, zarówno na ciepło jak i na zimno. W rozdziale 3. Doktorant opisał podstawowe zagadnienia dotyczące modelowania procesu spawania przy zastosowaniu metody elementów skończonych (uwzględniając m.in. kwestie topnienia i krzepnięcia oraz wpływu rodzaju elementu na czas jak i precyzję wykonanych obliczeń). Kolejne dwa rozdziały stanowią wkład własny Autora. Dotyczy on systemu optymalizacji, gdzie przedstawia funkcję celu, kryteria optymalizacji i algorytmy wspomagające przygotowanie modelu numerycznego. Doktorant słusznie zakłada, że niezwykle istotną kwestią, z punktu widzenia minimalizacji naprężeń i odkształceń spawalniczych, jest kolejność wykonania połączeń spawanych. Następnie Autor przedstawia szereg porównań wyników przeprowadzonych optymalizacji z pomiarami rzeczywistych sekcji spawanych konstrukcji. W rozdziale 6., który Doktorant nazwał „zakończeniem”, w istocie podsumował swoją rozprawę oraz wskazał na praktyczny aspekt zastosowania uzyskanych wyników. Jest to niezwykle istotne, ponieważ recenzowana rozprawa została zrealizowana w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”.

Bibliografia dysertacji mgra inż. Tomasza Zadorożnego obejmuje 80 pozycji, wśród których:

- 1 praca, której Doktorant jest współautorem;
- większość cytowanych artykułów pochodzi z czasopism, w których zagadnienia spawalnicze i numeryczne są w głównym nurcie tematycznym oraz mają uznaną pozycję w międzynarodowym środowisku naukowym;
- można zaobserwować odpowiednio wyważone proporcje pomiędzy pracami klasycznymi dla opisywanych zagadnień a aktualną literaturą (artykuły młodsze niż 10 lat, których jest ponad 30);



2. Tematyka rozprawy i problem badawczy

Tematyka podjęta przez Doktoranta w ramach niniejszej rozprawy jest aktualna i niezwykle cenna z utylitarne punktu widzenia. Konstrukcje spawane są wykonywane w wielu dziedzinach przemysłu. Jednak wszędzie występują podobne problemy, które są związane zarówno z zagadnieniami dotyczącymi procesów metalurgicznych, skłonności do pęknięć oraz naprężeń i odkształceń spawalniczych. Jest to niezwykle istotne w przypadku spawania konstrukcji cienkościennych z wieloma spoinami, które są rozłożone na znacznej powierzchni. Zabezpieczenie przed nadmiernym odkształceniem konstrukcji pozwalana na zwiększenie trwałości eksploatacyjnej, zmniejszenie nakładów pracy przeznaczonych na prostowanie itp.

W niniejszej rozprawie postawiony przez Doktoranta problem badawczy dotyczył opracowania nowego systemu mającego wspomagać rozmieszczenie punktów podporowych podczas spawania konstrukcji poszycia pojazdu kolejowego. Pionierski charakter mają tutaj zaproponowane przez Autora algorytmy wspomagające przygotowanie modelu numerycznego za pomocą metody elementów skończonych (MES). W dotychczasowej literaturze tematyka ta nie jest opisana zbyt szczegółowo. Ponadto bardzo istotne jest również to, że podjęcie powyższej tematyki ma bardzo konkretne aspekty wdrożeniowe, co jest wręcz podstawą trybu, w jakim realizowana jest recenzowana rozprawa. Wymiar praktyczny dysertacji jest bardzo wyraźnie zarysowany, co jest charakterystyczne dla doktoratów wdrożeniowych.

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe rozważania należy uznać, że zarówno z naukowego jak i utylitarne punktu widzenia tematyka przedłożonej do recenzji dysertacji jest ważna oraz aktualna. *Expressis verbis* spełnia ona wymagania, jakie są stawiane pracom doktorskim, które są realizowane w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna.



3. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

Na podstawie merytorycznej analizy zakresu oraz treści przedłożonej rozprawy należy wyraźnie stwierdzić, że wpisuje się ona w dyscyplinę naukową Inżynieria Mechaniczna. Dysertację Pana mgr inż. Tomasza Zadorożnego uważam za interesującą oraz wartościową, zarówno pod względem naukowym, jak również użytecznym.

W niniejszej pracy należy pokreślić to, że Autor zaproponował własny algorytm wspomagający model numeryczny rozmieszczenia podpór, jak również fakt, że uzyskane wyniki porównał z rzeczywistymi pomiarami. Porównanie zaproponowanego rozwiązania z pełnoskalową konstrukcją pozwoliło na uwypuklenie mocnych stron opracowanego przez Doktoranta systemu wspomagającego. Jednak pewien niedosyt budzi brak właściwej walidacji tego rozwiązania, ponieważ nie przedstawiono założeń ani wymaganej dokładności wymiarowej analizowanej konstrukcji.

Należy podkreślić, że Autor miał ograniczone pole działania, wynikające z braku możliwości modyfikacji niektórych elementów oprzyrządowania spawalniczego. Doktorant w sposób zwięzły przedstawił uzyskane wyniki dla poszczególnych sekcji poszycia oraz operacji spawania, jak również dla kluczowych wymiarów całej konstrukcji.

Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta uważam wielowymiarowe podejście do opracowania autorskiego algorytmu. Łączy ono zagadnienia obejmujące wiele różnych dziedzin, takich jak technologie spawalnicze, inżynierię materiałową, analizy numeryczne, informatykę. Niezwykle istotny jest fakt, że opracowany przez Autora algorytm jest możliwy do wdrożenia w różnych lokalizacjach i zdolny do adaptacji przez inżynierów procesu, bez konieczności zatrudniania specjalistów z dziedziny obsługi sztucznych sieci neuronowych.



4. Uwagi krytyczne oraz sugestie

Recenzowana rozprawa została przygotowana poprawnie pod względem merytorycznym jak i językowym. Niemniej jednak kilka kwestii poruszonych w dysertacji budzi pewne zastrzeżenia (co jednak nie obniża pozytywnej całościowej oceny rozprawy). Uwagi (czasem pytania) sformułowano w trzech poniższych grupach o charakterze merytorycznym, ogólnym i semantycznym.

Uwagi natury merytorycznej:

1. Na rys. 1 Doktorant przedstawił schemat blokowy małoseryjnej produkcji. Budzi on pewne zastrzeżenia, np.: na jakiej podstawie wykonywana jest tzw. partia testowa oraz czy na pewno po doborze parametrów od razu rozpoczyna się produkcję (a gdzie weryfikacja i ewentualna korekta)?
2. Niemal całkowity brak odwołania się przez Autora do źródeł z literatury zarówno w przypadku ilustracji, jak również obszernych fragmentów tekstu dotyczącego zagadnień spawalniczych.
3. Podpis pod rys. 24 jest błędny.
4. Pewne zastrzeżenia budzi zastosowania w tytule Tab. 1 sformułowania „statystyka”.
5. Brak jednolitego sposobu oznaczenia spoin pachwinowych: w Tab. 8 spoina oznaczona wymiarem „a”, podczas gdy w Tab. 10 oznaczona wymiarem „z”.
6. Akronim „WPS” (ang. Welding Procedure Specification) nie oznacza „planu spawania” (m. in. na str. 71), jest to instrukcja technologiczna spawania.
7. Czy wartość współczynnika Poissona dla stali S500MC (w Tab. 7 przyjęta jako 0,33) została dobrana prawidłowo?
8. Na str. 69 Autor podał, że przyjęto prędkość spawania dla wszystkich spoin jako 80 cm/min. O ile w przypadku spoin wykonanych w pozycji podolnej (PA) oraz nabocznej (PB) jest to możliwe, to poprawne wykonanie spoin w pozycjach przymusowych (PC, PF) jest niezwykle problematyczne.
9. Dlaczego opis opracowanego systemu został przedstawiony na przykładzie stopu aluminium EN AW-6005 T6 podczas gdy konstrukcja poszycia była modelowana dla stali S500MC?



Uwagi natury ogólnej:

1. Dyskusyjne jest zaprezentowanie oprzyrządowania stosowanego podczas prostowania przy użyciu pracy (rys. 29). Zamiast tego celowym było by pokazanie całej pracy podczas prostowania elementu.
2. W wielu przypadkach zaobserwowano, że na rysunkach są co najmniej dwie ilustracje, jednak nie rozróżniono ich w podpisie pod rysunkiem (np. rys. 27, rys. 33).
3. Brak odpowiedniej struktury rozprawy, zgodnej ze standardem IMRaD. Szczególnie jest to widoczne, gdy po przedstawionej hipotezie badawczej następuje opis teoretyczny zagadnienia.
4. Brak przeprowadzonej dyskusji otrzymanych wyników w odniesieniu do literatury przedmiotu.
5. Niejasny sposób cytowania, brak jednolitego stylu cytowania.
6. Czym jest „moc źródła ciepła” zamieszczona w Tab. 2 i w jakim celu podano taką wartość?
7. Proszę o wyjaśnienie dlaczego w pracy jako materiał posycia przyjęto stal S500MC podczas gdy w zakończeniu Autor wspomniał, że projekt dotyczył zastosowania stali Magnelis.

Uwagi natury semantycznej:

1. W wielu podpisach pod rysunkami Autor stosuje sformułowanie „przykład” podczas gdy jest to „schemat” (np. rys. 20).
2. W tekście zaobserwowano nieliczne odstępstwa od reguły stosowania formy bezosobowej.
3. Zaobserwowano również znaczną liczbę *wiszących spójników*. Zgodnie z regułami języka polskiego, w wierszach tekstu liczących powyżej 40 znaków nie należy pozostawiać na końcu wiersza jednoliterowych przyimków oraz spójników.



Wniosek końcowy

Należy zdecydowanie podkreślić, że zawarte w mojej recenzji uwagi oraz sugestie nie wpływają na holistyczną ocenę rozprawy doktorskiej, która jest pozytywna.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska **mgra inż. Tomasza Zadorożnego**, pt. *„Minimalizacja odkształceń cieplnych w wyniku inteligentnej optymalizacji rozmieszczenia punktów mocowań w obszarze komponentu spawanego”* spełnia wymogi stawiane pracom na stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych, w rozumieniu art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami) oraz ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.). W związku z powyższym **wnioskuję o dopuszczenie** rozprawy doktorskiej mgra inż. Tomasza Zadorożnego pod publiczną dyskusję oraz procedowanie kolejnych etapów w zakresie ubiegania się przez Doktoranta o stopień naukowy doktora nauk inżynieryjno-technicznych.