

Prof. dr hab. inż. Tomasz Węgrzyn
Katedra Ruchu Drogowego
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice
e-mail: Tomasz.Wegrzyn@polsl.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Deca

pt.

„Modelowanie mikrostruktury złączy spawanych ze stali AISI 304L i AISI 316L
w aspekcie poprawy odporności korozyjnych zbiorników procesowych”

1. Podstawa opracowania

Podstawę formalną opracowania niniejszej recenzji stanowią:

- Pismo przewodnie RM-530-07-01/25/2026 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Burghardta,
- Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej z dnia 21 stycznia 2026 w sprawie powołania recenzentów w postępowaniu mgr inż. Andrzeja Deca,
- ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz.U. z 2024 poz. 1571 z późn. zm. z późn. zm.).

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Modelowanie mikrostruktury złączy spawanych ze stali AISI 304L i AISI 316L w aspekcie poprawy odporności korozyjnych zbiorników procesowych” autorstwa mgr inż. Andrzeja Deca zrealizowana w ramach dyscypliny inżynieria mechaniczna.

2. Tytuł rozprawy doktorskiej - aktualność podjętego tematu

Tematyka spawania zbiorników procesowych ze stali nierdzewnych AISI 304L i AISI 316L jest aktualna zarówno z perspektywy badań naukowych, jak i ich zastosowań przemysłowych. Elementy konstrukcji wymienników ciepła zbiorników procesowych powinny cechować się zarówno dobrymi własnościami mechanicznymi, jak i wysoką odpornością

korozyjną. Własności te wynikają zarówno ze struktury materiałów łączonych jak i samego procesu spajania. W rozprawie, Doktorant przedstawił zrobotyzowane stanowisko do wykonania zbiorników procesowych z obróbką cieplną po spawaniu, która pozwala na modyfikację struktury i uzyskanie lepszych własności użytkowych złączy.

Badania naukowe prowadzące do analizy struktury i właściwości spawanych elementów konstrukcji z austenitycznej stali nierdzewnej są zasadne. Przeprowadzono analizę wpływu ciepła wprowadzonego do złącza na strukturę spoiny. Opracowano obróbkę cieplną po spawaniu, która pozwala skutecznie ograniczać zawartość ferrytu delta w spoinie. Podjęcie przez Autora badań nad usprawnieniem procesu technologicznego wytwarzania wymienników ciepła zbiorników procesowych jest w pełni uzasadnione. Podjęty w rozprawie temat wnosi znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

3. Charakterystyka i ocena rozprawy - ocena metodyczna (ocena układu rozprawy doktorskiej, ocena zastosowanego piśmiennictwa)

W rozprawie doktorskiej mgr inż. Andrzej Dec podjął próbę oceny własności mechanicznych i odporności korozyjnej wymienników ciepła zbiorników procesowych, charakteryzujących się strukturą austenityczną z niewielką ilością ferrytu delta w spoinie. Przewód doktorski jest realizowany w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Układ rozprawy doktorskiej jest prawidłowy. Rozprawa podzielona jest na 7 rozdziałów, całość liczy 84 strony, zawiera spis literatury obejmujący 105 pozycji publikacyjnych. Przegląd piśmiennictwa jest wykonany bardzo starannie. Cytowane pozycje literaturowe są aktualne. Większość pozycji literaturowych stanowią najnowsze publikacje międzynarodowe. W rozprawie można zauważyć racjonalne zaplanowanie eksperymentu i prawidłowy dobór metod badawczych. Doktorant przedstawił sposób przygotowania próbek i metodykę badań zgodnie z aktualnymi normami. W metodyce badań, szczegółowo zaprezentowano ich przebieg oraz wykorzystaną w prowadzonych eksperymentach aparaturę badawczą. Należy docenić staranne i dokładne opracowanie wyników badań.

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska dotyczy opracowania nowego rozwiązania materiałowo-technologicznego związanego z budową wymienników ciepła zbiorników procesowych. Przeprowadzono dokładną analizę literatury i wykonano wieloletnie badania rozpoznawcze ramach projektu RPO WE (2014-2020) na podstawie których postawiono tezy:

- *zastosowanie do wytwarzania wymienników ciepła zbiorników procesowych, zautomatyzowanego stanowiska do profilowania węzownicy oraz zautomatyzowanego stanowiska spawania metodą TIG do jej łączenia z płaszczem zbiornika, pozwoli na znaczną poprawę jakości złączy spawanych oraz powtarzalności ich mikrostruktury z uwagi na zawartość ferrytu,*

- *zastosowanie nowo opracowanej obróbki pospawalniczej złączy spawanych zbiorników procesowych pozwoli na modelowanie mikrostruktury w aspekcie podwyższenia wytrzymałości na rozciąganie oraz odporności korozyjnej.*

Dla udowodnienia przyjętych tez rozprawy wykonano następujące badania:

- opracowanie zrobotyzowanego stanowiska do profilowania ścianki zewnętrznej wymienników ciepła i jego spawania ze ścianką zbiornika,
- modelowanie mikrostruktury spoin złączy spawanych poprzez zmianę ilości wprowadzonego ciepła HI,
- modelowanie mikrostruktury spoin pospawalniczą obróbką cieplną w aspekcie podwyższenia właściwości mechanicznych i odporności na korozję wżerową.

Badania miały dwie spójne części: zaprojektowanie stanowiska do wytwarzania wężownic oraz sprawdzenie jakości złączy dążąc do ograniczenia zawartości ferrytu delta w austenitycznej spoinie. W części pierwszej zaprojektowano zautomatyzowane stanowisko wytwarzania wężownic, wykonano symulację komputerową do oceny dopuszczalnych naprężeń w wężownicy, opracowano parametry procesu TIG, wykonano prototypowy zbiornik procesowy z wymiennikiem ciepła. W części drugiej badano wpływ wydzielen ferrytu δ na inicjację korozji wżerowej w spoinach, modelowano mikrostrukturę spoin przez obróbkę cieplną po spawaniu, analizowano odmiany morfologiczne ferrytu δ . Sprawdzono własności mechaniczne i chemiczne złącza analizując wytrzymałość na rozciąganie, udarność złączy i odporność korozyjną. Pracę wieńczy dokładne podsumowanie wszystkich badań i precyzyjnie sformułowane wnioski.

W rozdziale 1. pt. „Wprowadzenie” omówiono austenityczne stale AISI 304L i AISI 316L stosowane w przemyśle spożywczym oraz omówiono dotychczas stosowane zbiorniki procesowe i metody spawalnicze stosowane do ich budowy.

W rozdziale 2. pt. „Problematyka wytwarzania i eksploatacji zbiorników procesowych”

Autor przedstawił najważniejsze elementy zbiorników procesowych. Opisano metody spawalnicze stosowane do wytwarzania zbiorników procesowych. Opisano etapy kontroli jakości spawanych elementów zbiorników procesowych. Wyjaśniono różnice w zastosowaniu obu badanych gatunków stali austenitycznej (AISI 304L i AISI 316L). Przeanalizowano strukturę obu gatunków stali i omówiono rolę ferrytu delta w złączy spawanym. Opisano mechanizmy korozji urządzeń do produkcji żywności. Wskazano na możliwość powstawania korozji wżerowej, naprężeniowej, mikrobiologicznej w urządzeniach stosowanych w przemyśle spożywczym. Scharakteryzowano metody zapobiegania i ochrony przed korozją zbiorników w przemyśle spożywczym. Podano procedury czyszczenia, konserwacji oraz innowacyjnych technologii ochronnych pozwalających na poprawę trwałości urządzeń w przemyśle spożywczym.

W rozdziale 3. pt. „Struktura złączy spawanych austenitycznych stali nierdzewnych”

Autor szczegółowo przedstawił najważniejsze materiały stosowane do badań. W pracy zajmowano się złączami spawanymi ze stali AISI 316L i AISI 304L przy wykorzystaniu jako materiału dodatkowego, drutu elektrodowego o składzie chemicznym odpowiadającym stali AISI 316L. Autor opisał fazy występujące w złączach spawanych. Omówiono znaczenie austenitu i ferrytu delta i jego odmian morfologicznych podkreślając, że odmiany te są wciąż rzadko opisywane w literaturze.

W rozdziale 4. pt. „Analiza stanu zagadnienia – tezy pracy”

Autor postawił tezy pracy, podał procedury badawcze prowadzące do ich udowodnienia (rozdział 4 recenzji). Autor podkreślił, że pomimo występującej korozji w spawanych konstrukcjach z austenitycznych stali nierdzewnych, brak jest wystarczającej wiedzy o możliwości poprawy odporności korozyjnej tych stali drogą fizycznego modelowania mikrostruktury z wykorzystaniem obróbki pospawalniczej, która jest istotnym osiągnięciem Doktoranta.

W rozdziale 5 pt. „Badania własne”

podano cel wykonywanych badań w części projektowej oraz w części dotyczącej modelowania mikrostruktury spoin minimalizującej zawartość ferrytu δ . Starannie opisano materiały stosowane w badaniach. Dokładnie przedstawiono metodykę realizacji wszystkich badań w celu: skontrolowania geometrii spoin i zawartość ferrytu, określenia sprawności cieplnej procesu spawania, przeprowadzenia badań metalograficznych, opracowania wartości parametrów obróbki pospawalniczej, zbadania właściwości mechanicznych złączy spawanych, zbadanie odporności na korozję.

W rozdziale 6. pt. „Wyniki badań i ich analiza”

na wstępie Doktorant przeprowadził symulację komputerową dopuszczalnych naprężeń w nowym wariantcie węzownicy. Następnie Doktorant analizował wpływ wprowadzonego ciepła do złączy spawanych, analizował wpływ doprowadzonego ciepła na strukturę metalograficzną spoin, ustalił klasę jakości spoin i wyznaczył liczbę ferrytową FN. Wpływ obróbki pospawalniczej na mikrostrukturę spoin sprawdzono na obiekcie rzeczywistym, czyli na zrobotyzowanym autorskim stanowisku do wytwarzania zbiorników procesowych. Zbadano podatność spoin na korozję wżerową. Zbadano wytrzymałość i udarność próbek wykonanych różnymi parametrami spawalniczymi i obróbki cieplnej. Godne podkreślenia jest to, że Doktorant uzyskał patent na przedstawioną technologię i stanowisko do wytwarzania węzownic nr PL 241864, co świadczy o randze i innowacyjności prowadzonych przez Niego badań naukowych.

W rozdziale 7. pt. „Stwierdzenia i wnioski”

zostały przedstawione najważniejsze wnioski, do których między innymi należy stwierdzenie, że redukcja zawartości ferrytu δ w spoinach austenitycznych stali nierdzewnych prowadzi do podwyższenia odporności na korozję

wzierać. Autorska obróbka pospawalnicza złączy spawanych pozwoliła na uzyskanie dobrych własności mechanicznych i chemicznych złącza/ konstrukcji. Cel pracy został zrealizowany.

5. Uwagi krytyczne i redakcyjne

Koncepcja badań doświadczalnych została sformułowana przez Doktoranta starannie i poprawnie. Realizację badań oceniam bardzo pozytywnie. Eksperymentalna część rozprawy jest przejrzysta i zawiera szereg wartościowych wyników i informacji. Doceniam trafnie przyjęty zakres metod badawczych. Forma prezentowania wyników, profesjonalny sposób ich analizy oraz przedstawione wnioski świadczą o dojrzałości badawczej Doktoranta. W trakcie analizy rozprawy nasunęła mi się uwaga o charakterze ogólnym i dwie drobne uwagi szczegółowe niemające wpływu na wysoką ocenę merytoryczną pracy.

Uwaga o charakterze ogólnym:

1. W rozdziale 4 jest zdanie: *”Przemiana ferrytu δ w austenit podczas chłodzenia stopu już w stanie stałym, została scharakteryzowana w literaturze technicznej jako eutektyczna”*. Austenit powstaje w wyniku przemiany perytektycznej (0,1% C do 0,5% C), natomiast przy mniejszej zawartości węgla poniżej 0,1% C austenit powstaje poniżej krzywej solvus w wyniku przemiany fazowej ferryt delta – austenit). W wyniku przemiany eutektycznej powstaje ledeburyt.

Do uwag szczegółowych zaliczam:

1. Cytując literaturę, nie podaje się tytułów autorów publikacji, np. *„Według profesora E. Tasaka [42]”*, str 46.
2. Drobne uwagi edycyjne (np. zamiast „6 barów” można wyrazić tę wartość w MPa, zgodnie z układem SI. Brak spacji przy niektórych jednostkach (np. *18mm*, str 49, *1250mm*, str 62). We wnioskach napisano „poprze zmianę”, powinno być poprzez zmianę.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Andrzeja Deca pt. „Modelowanie mikrostruktury złączy spawanych ze stali AISI 304L i AISI 316L w aspekcie poprawy odporności korozyjnych zbiorników procesowych” jest interesującą dysertacją o aktualnej tematyce. Istotnymi osiągnięciami Doktoranta jest zaprojektowanie i wykonanie zrobotyzowanego stanowiska do budowy zbiorników procesowych z obróbką cieplną po spawaniu, która pozwala na modyfikacje struktury i uzyskanie lepszych własności użytkowych oraz opracowanie sposobu spawania stali austenitycznych obniżających zawartość ferrytu delta stosując pospawalniczą obróbkę cieplną. Rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej „Inżynieria mechaniczna”.

Doktorant wykazał się umiejętnością dobrego planowania i wykonywania badań oraz analizy merytorycznej uzyskanych wyników. Autor osiągnął cel postawiony w pracy, dochodząc do wyników mających istotne znaczenie poznawcze. Całość recenzowanej rozprawy w pełni potwierdza wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej. Doktorant wykazał się wiedzą z wielu obszarów, zwłaszcza ze spawalnictwa, mechaniki, materiałoznawstwa, chemii, którą doskonale wykorzystał do rozwiązywania problemu naukowego z dyscypliny „Inżynieria mechaniczna”.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Z uwagi na wskazane atuty w pracy i osiągnięcia w dyscyplinie naukowej wnioskuję o jej wyróżnienie.

Katowice, 2. III 2026 r

