

Dr hab. Mariusz Prażmowski, prof. uczelni
Katedra Technologii Maszyn i Materiałoznawstwa
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5
45-271 Opole

Opole, 22.01.2025

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: „Wpływ technologii spawania laserowego/hybrydowego na strukturę i właściwości złączy doczołowych rur kompozytowych stosowanych w przemyśle energetycznym”.

Autor rozprawy: mgr inż. Radosław CIOKAN.

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Santina TOPOLSKA, prof. PŚ.

Promotor pomocniczy: dr inż. Michał URBAŃCZYK, GIT - Sieć Badawcza Łukasiewicza.

Opiekun z firmy: inż. Tomasz TREPPA.

1. Podstawa formalna opracowania

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej, na podstawie pisma, RDJMa.512.44.2025 z dnia 30.11.2025.

2. Ilościowa charakterystyka rozprawy

Rozprawa jest opracowaniem składającym się ze 131 stron, podzielonym na 17 rozdziałów z podrozdziałami. W pracy zamieszczono 53 rysunki oraz 10 tabel. Spis literatury obejmuje 119 pozycji (92 artykuły oraz 27 norm) w tym 2 prace współautorskie doktoranta (poz. 1 oraz 10).

3. Ocena rozprawy

3.1. Ocena wyboru tematyki badawczej

Wybór tematyki badawczej dotyczącej spawania laserowego oraz hybrydowego laser+MAG, rur kompozytowych wykonanych z połączenia stali węglowej i stali austenitycznej/stopu niklu, należy ocenić bardzo wysoko. Problematyka ta wpisuje się w aktualne trendy rozwoju nowoczesnych technologii spawalniczych, ukierunkowanych na zwiększenie efektywności procesów wytwarzania, poprawę jakości połączeń oraz możliwość łączenia materiałów o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych.

Szczególne znaczenie ma podjęcie badań nad połączeniami rur kompozytowych stal węglowa–stal austenityczna, które znajdują coraz szersze zastosowanie w przemyśle energetycznym, chemicznym i petrochemicznym, gdzie wymagane są jednocześnie wysoka wytrzymałość mechaniczna oraz odporność korozyjna. Zastosowanie spawania laserowego oraz hybrydowego laser+MAG pozwala na analizę zalet i ograniczeń obu technologii w kontekście kształtowania struktury, właściwości mechanicznych oraz jakości połączeń różnoimiennych.

Podjęta tematyka ma zarówno istotny wymiar poznawczy, jak i wyraźny potencjał aplikacyjny, a uzyskane wyniki mogą stanowić cenny wkład w rozwój technologii spawania materiałów różnoimiennych oraz stanowić podstawę do wdrożeń przemysłowych.

3.2. Ocena poszczególnych rozdziałów

Rozdział 1. Wstęp

Rozdział 1 charakteryzuje się przejrzystą strukturą oraz poprawnym przygotowaniem merytorycznym. Autor w sposób jednoznaczny wskazał znaczenie nowoczesnych technologii spawalniczych dla sektora energetycznego, precyzyjnie umiejscawiając temat rozprawy w aktualnym

kontekście przemysłowym i technologicznym. Na szczególne podkreślenie zasługuje argumentacja uzasadniająca konieczność stosowania procesów spawania laserowego i hybrydowego w porównaniu z metodami konwencjonalnymi (MIG, TIG, MMA). Ograniczenia tradycyjnych technologii zostały przedstawione obiektywnie i w sposób zrozumiały, co stanowi podstawę do wyboru kierunku badań. Istotnym atutem rozdziału jest jasne określenie przedmiotu badań. Opis rur kompozytowych, ich konstrukcji oraz warunków eksploatacji, jest precyzyjny i dobrze uzasadnia złożoność analizowanych zagadnień technologicznych. Na tej podstawie Autor klarownie sformułował cel i plan badań. Rozdział 1 spełnia wymagania stawiane naukowemu wprowadzeniu i stanowi solidny fundament dla dalszych części rozprawy.

Rozdział 2. Charakterystyka rur kompozytowych

Rozdział 2 poświęcony charakterystyce rur kompozytowych oparto na bimetalowych układach z warstwą wewnętrzną ze stali P265GH (4L7) oraz warstwą zewnętrzną ze stali 304L (3R12) lub stopu niklu Alloy 825. Autor w sposób uporządkowany omawia skład chemiczny materiałów oraz wpływ głównych pierwiastków stopowych na ich właściwości mechaniczne i eksploatacyjne. Poprawnie przedstawiono budowę i makrostrukturę układów bimetalicznych oraz wynikające z nich funkcje eksploatacyjne poszczególnych warstw.

Rozdział zawiera także przegląd technologii wytwarzania rur dwuwarstwowych, takich jak napawanie, walcowanie, spiekanie czy współbieżne wytłaczanie, z trafnym podkreśleniem roli obróbki cieplnej w tych procesach. Całość zamyka omówienie metod kontroli jakości, obejmujących badania niszczące i nieniszczące. Rozdział stanowi spójne i merytorycznie poprawne wprowadzenie teoretyczne.

Należy jednak zwrócić uwagę, że w rozdziale tym jako przykłady przedstawiono jedynie materiały będące przedmiotem badań w części eksperymentalnej pracy. Umieszczenie szczegółowych informacji o tych materiałach w części literaturowej może wprowadzać czytelnika w błąd i skutkuje powielaniem treści w dalszych rozdziałach pracy.

Rozdział 3. Spawanie rur kompozytowych

Rozdział 3 stanowi najobszerniejszą część przeglądu literatury i jest jednym z kluczowych elementów rozprawy. Został opracowany w sposób logiczny i spójny, tworząc solidne podstawy teoretyczne dla części eksperymentalnej. Autor poprawnie i wyczerpująco omówił konwencjonalne metody spawania rur kompozytowych (TIG, MMA), ze szczególnym uwzględnieniem przygotowania złączy, doboru materiałów dodatkowych i parametrów procesów.

Na wysoką ocenę zasługuje część poświęcona nowoczesnym technologiom spawania laserowego oraz hybrydowego laserowo-łukowego. Autor trafnie wskazał ich kluczowe zalety, takie jak wysoka koncentracja energii, ograniczona strefa wpływu ciepła oraz korzystne właściwości mechaniczne złączy. Szczegółowy opis stanowiska badawczego oraz parametrów procesu świadczy o dobrym przygotowaniu Autora do realizacji badań eksperymentalnych.

Rozdział zawiera również przegląd alternatywnych metod nanoszenia powłok ochronnych, co stanowi wartościowy punkt odniesienia dla analizowanych technologii spawania laserowego.

Rozdział 4. Podsumowanie części teoretycznej

Rozdział 4 stanowi poprawnie opracowane, syntetyczne podsumowanie części teoretycznej. Autor trafnie zestawia omawiane technologie i jednoznacznie wskazuje na rosnące znaczenie spawania laserowego i hybrydowego jako perspektywicznych rozwiązań dla sektora energetycznego. Rozdział spełnia swoją funkcję porządkującą i logicznie zamyka przegląd literatury.

Rozdział 5. Cel i teza pracy

W rozdziale 5 Autor w sposób uporządkowany sformułował tezę pracy, problem badawczy, cel rozprawy, hipotezę główną oraz cel użytkarny. Układ rozdziału jest czytelny, a poszczególne elementy tworzą spójne ramy koncepcyjne dalszych badań. Teza i hipoteza zostały sformułowane jednoznacznie i w sposób umożliwiający ich weryfikację eksperymentalną. Na szczególne podkreślenie zasługuje jasno określony cel użytkarny, wskazujący na praktyczny i aplikacyjny charakter rozprawy.

Rozdziały 6 do 16. Część eksperymentalna

Część eksperymentalna stanowi kluczowy element rozprawy i została zrealizowana poprawnie pod względem metodycznym i technicznym. Autor przeprowadził zgodny z praktyką inżynierską zakres badań niszczących i nieniszczących, uzupełniony o analizy mikrostrukturalne oraz ocenę właściwości mechanicznych, z jednoznacznym odniesieniem do obowiązujących norm i standardów badawczych.

Rozdziały 6 i 7 – Materiał do badań oraz Metodyka badań

Rozdział 6 zawiera charakterystykę materiałów zastosowanych w badaniach eksperymentalnych, opisując dane geometryczne rur bimetalowych (Sanicro 38/4L7 oraz 3R12/4L7), materiałów dodatkowych oraz gazów osłonowych. Dobór materiałów i ich uzasadnienie są merytorycznie poprawne i odpowiadają celom pracy. Niestety dużym mankamentem tej części pracy jest brak odniesienia do składu chemicznego i własności mechanicznych badanych rur bimetalowych. Co prawda Autor szczegółowo przedstawił skład chemiczny układów bimetalowych 38/4L7 oraz 3R12/4L7 w rozdziale 2.1 (tablica 1), jednak w rozdziale 2.1 wystarczający byłby ogólny opis pierwiastków stopowych oraz ich wpływu na właściwości materiałów. Szczegółowy skład chemiczny, zgodny z certyfikatami producenta, należałoby przedstawić właśnie w rozdziale 6. Uzupełnienie charakterystyki materiałów do badań o podstawowe właściwości mechaniczne materiału przed procesem spawania dopełniłoby ich opis i jednocześnie ułatwiłoby porównanie właściwości połączeń spawanych omawianych w dalszej części pracy ze stanem wyjściowym.

Rozdział 7 przedstawia metodykę badań nieniszczących połączeń spawanych i stanowi istotny element pracy, będąc naturalnym punktem wyjścia do oceny jakości wykonanych połączeń. Opracowany przez Autora schemat postępowania (rys. 14) znacząco zwiększa przejrzystość realizacji eksperymentu i ułatwia zrozumienie kolejności wykonywanych czynności badawczych.

Autor poprawnie opisuje zastosowane procedury badawcze oraz sposób interpretacji uzyskanych wyników, odwołując się do obowiązujących norm. Badania wizualne (VT) zostały przeprowadzone w celu oceny kształtu lica i grani spoiny, ciągłości ściegu oraz ewentualnych niezgodności powierzchniowych. Badania penetracyjne (PT) umożliwiły wykrycie nieciągłości powierzchniowych niewidocznych podczas oceny wizualnej, natomiast badania radiograficzne (RT) dostarczyły informacji o niezgodnościach wewnątrz połączeń spawanych. Autor właściwie przedstawił zastosowaną technikę radiograficzną, parametry ekspozycji oraz kryteria oceny uzyskanych radiogramów. Wyniki badań RT potwierdzają prawidłowe wykonanie złączy w analizowanych konfiguracjach spawania i stanowią istotne uzupełnienie oceny nieniszczącej, umożliwiając kompleksową weryfikację jakości połączeń. Uzupełnieniem przedstawionych technik była metoda prądów wirowych (ET), która potwierdziła wcześniejsze wyniki badań, zwiększając wiarygodność analiz.

Szczególnie godny uwagi jest podrozdział 7.5 dotyczący analizy naprężeń resztkowych w złączach spawanych. Autor w sposób właściwy dobrał metodę badawczą, poprawnie ją opisał oraz odniósł procedurę pomiarową do obowiązujących norm. Przedstawione wyniki są logicznie zinterpretowane, a wnioski jednoznacznie wskazują na korzystny wpływ zastosowanej technologii spawania na rozkład naprężeń resztkowych. Rozdział ten znacząco podnosi wartość poznawczą pracy.

W rozdziale 7, Metodyka badań, należy zwrócić uwagę na pewną niekonsekwencję. W podrozdziałach od 7.1 do 7.6 Autor przedstawia metodykę badań nieniszczących (VT, RT, ET, PT), natomiast metodyce badań niszczących poświęcony jest osobny rozdział 8. Nie wpływa to istotnie na ocenę merytoryczną rozdziału, choć wskazuje obszar do ewentualnego uporządkowania struktury pracy.

Rozdział 8. Metodyka badań – badania niszczące

W rozdziale 8 odnoszącym się do badań niszczących Autor w sposób kompleksowy przedstawił cel i zakres badań, uzasadniając ich znaczenie dla oceny jakości połączeń spawanych.

Opisane w rozdziale procedury badawcze, obejmujące pomiary twardości, próby rozciągania i zginania, zostały przeprowadzone zgodnie z obowiązującymi normami z zachowaniem staranności metodycznej. Autor poprawnie dobrał punkty pomiarowe, parametry badawcze i sposób dokumentacji, w tym fotograficzną i cyfrową rejestrację wyników, co znacząco zwiększa wiarygodność i powtarzalność eksperymentu.

Wyniki badań jednoznacznie wskazują na wysoką jakość ocenianych połączeń. Rozkład twardości w spoinie i strefie wpływu ciepła (SWC) był równomierny, zdaniem Autora bez przekroczenia wartości

krytycznych, co świadczy o stabilności procesu cieplnego i kontrolowanym przebiegu spawania i napawania. Badania wykazały wartość granicy plastyczności powyżej 340 MPa, wytrzymałości na rozciąganie powyżej 500 MPa, a miejsce zerwania w każdym przypadku znajdowało się w materiale podstawowym, poza strefą spoiny, co jednoznacznie potwierdza ciągłość metalurgiczną połączenia. Próby zginania do kąta 180° wykazały brak mikropęknięć, rozwarstwień i innych nieciągłości strukturalnych, co świadczy o wysokiej plastyczności materiału. Rozdział dostarcza danych niezbędnych do oceny jakości połączenia spawanego i stanowi podstawę do dalszych badań zmierzających do optymalizacji procesów łączenia rur kompozytowych w zastosowaniach przemysłowych.

Oceniając, rozdział 8 można stwierdzić, że przedstawione wyniki badań niszczących są poprawnie udokumentowane. Jednak stwierdzenie, na tym etapie pracy, że „*Uzyskane wyniki badań niszczących stanowią podstawę do dalszej optymalizacji procesów łączenia rur kompozytowych oraz potwierdzają zasadność wdrożenia technologii laserowej i hybrydowej w warunkach przemysłowych*” jest nieuprawnione. Przedstawione wyniki badań nieniszczących i niszczących opierają się na ocenie 2 próbek o nieznanymi parametrach procesu spawania. Jednym z kluczowych ograniczeń oceny uzyskanych rezultatów jest brak charakterystyki właściwości mechanicznych materiałów w stanie przed procesem łączenia, co ogranicza możliwość jednoznacznej interpretacji wpływu procesu spawania na badane materiały.

Rozdział 9. Badania metalograficzne

Rozdział 9 dotyczący badań metalograficznych został opracowany starannie a przedstawione wyniki badań makroskopowych i mikroskopowych połączeń spawanych rur kompozytowych 3R12/4L7 i Sanicro 38/4L7 dostarczają istotnych informacji o geometrii, mikrostrukturze i składzie chemicznym w strefie połączenia.

W podrozdziale 9.1 przedstawiono wyniki badań makroskopowych, w których stwierdzono prawidłową geometrię spoin, równomierny przetop oraz brak makroskopowo wykrywalnych niezgodności spawalniczych, takich jak porowatość, podtopienia czy brak wtopienia. Uzyskane obserwacje wskazują na stabilny i powtarzalny przebieg procesów spawania i napawania. Analiza różnic pomiędzy spoinami wykonanymi w technologii laserowej oraz hybrydowej (laser + MAG) umożliwia ocenę wpływu zastosowanej technologii na kształtowanie strefy połączenia.

Sposób w jaki Autor prezentuje uzyskane wyniki nie umożliwia rzetelnego i jednoznacznego porównania geometrii wykonanych spoin. O ile rysunki 26 i 27 pozwalają na częściową ocenę struktury strefy połączenia, o tyle rysunki 24 i 25 nie przedstawiają spoin w sposób kompletny, co istotnie obniża wartość poznawczą przeprowadzonej analizy. Ponadto ocena makrostruktury została oparta wyłącznie na obserwacjach jakościowych i nie została uzupełniona analizą ilościową podstawowych parametrów geometrycznych spoin, takich jak szerokość i wysokość lica oraz grani, a także szerokość strefy wpływu ciepła, co uniemożliwia obiektywne porównanie efektów zastosowanych technologii spawania. Użyte przez Autora sformułowania, m.in. „*Napoiny wykonane metodą hybrydową (laser + MAG) charakteryzowały się szerszą strefą przetopu...*” oraz „*Profil spoin hybrydowych był bardziej rozłożysty niż spoin laserowych...*”, mają charakter wyłącznie opisowy i nie są poparte danymi ilościowymi, przez co nie pozwalają na precyzyjną ocenę różnic pomiędzy analizowanymi połączeniami. Dodatkowo oznaczenia próbek (D2, D1, D1.2, D2.1, 12D) zostały wprowadzone bez jednoznacznej identyfikacji różnic pomiędzy nimi, co w połączeniu z brakiem czytelnego powiązania próbek z przedstawionymi wynikami badań znacząco utrudnia ich interpretację.

Rozdział 9.2 przedstawia badania mikrostruktury i lokalnego składu chemicznego połączeń spawanych rur kompozytowych D1.2 (3R12/4L7) i D2.1 (Sanicro 38/4L7) przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM), z rejestracją obrazów w trybach elektronów wtórnych (SE) i elektronów wstecznie rozproszonych (BSE) oraz analizą składu chemicznego metodą EDS. Autor poprawnie dobrał metody badawcze i parametry obserwacji, umożliwiając ocenę struktury, kontrastów fazowych oraz stopnia wymieszania materiałów. Przedstawione wyniki potwierdzają różnice mikrostrukturalne pomiędzy spoinami wykonanymi przy użyciu techniki spawania laserowego oraz w technologii hybrydowej, w tym wpływ technologii na szerokość SWC, morfologię dendrytów, obecność lokalnych wydzieleni typu Laves oraz stref odwęglenia. Analizy EDS, w znacznym stopniu,

potwierdzają zgodność składu chemicznego spoin z materiałami bazowymi i ujawniają lokalne modyfikacje spowodowane użyciem materiału dodatkowego.

W rozdziale 9.3 przedstawiono wyniki badań mikroskopowych spoin dwuwarstwowych z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej, obejmujących mikrostrukturę materiału rodzimego, strefy wpływu ciepła (SWC) oraz spoiny. Analiza obejmowała przekroje poprzeczne próbek D1.2 (3R12/4L7) i D2.1 (Sanicro 38/4L7), a wyniki zilustrowano obszernym materiałem graficznym (rys. 37–53). Ten fragment pracy charakteryzuje się wysokim poziomem szczegółowości opisowej i bogatą dokumentacją ilustracyjną, co ułatwia wizualną ocenę mikrostruktury złączy. Niemniej jednak obserwacje mają charakter w dużej mierze jakościowy, a brak uzupełniających danych ilościowych, takich jak wielkość ziarna, udział faz czy szerokość SWC, ogranicza obiektywność analizy i możliwość porównania wpływu różnych warunków spawania. Dodatkowo w rozdziale pojawiają się oznaczenia próbek (D1.2, D2.1, 12D), które nie są w pełni objaśnione, co ogranicza czytelność rozdziału i możliwość powiązania wyników z konkretnymi warunkami spawania. Wreszcie, w niektórych przypadkach stwierdzono drobne defekty, takie jak wżery lub pęcherze gazowe, które nie zostały poddane dalszej analizie pod kątem przyczyn ich powstania ani potencjalnego wpływu na właściwości mechaniczne złączy.

Podsumowując, Rozdział 9 dostarcza wartościowych informacji o mikrostrukturze i składzie chemicznym spoin, podkreślając różnice wynikające z zastosowanej technologii spawania, jednak pełne wykorzystanie danych wymagałoby większej ilości analiz ilościowych oraz jednoznacznej identyfikacji próbek. Mimo to, rozdział wnosi istotny wkład w ocenę jakości połączeń i zasługuje na pozytywną ocenę.

Rozdziały 10 do 12.

Rozdziały 10–12 obejmują dobór parametrów technologicznych spawania laserowego i napawania hybrydowego oraz ich podsumowanie i interpretację w kontekście jakości spoin rur kompozytowych 3R12/4L7 i Sanicro 38/4L7. Rozdział 10 Dobór parametrów technologicznych spawania laserowego, przedstawia szczegółowy i technicznie spójny opis doboru parametrów spawania laserowego, uwzględniając konfigurację układu optycznego, moc lasera, prędkość przesuwu wiązki oraz zastosowanie gazu osłonowego. Opis parametrów jest kompletny, umożliwia powtarzalność eksperymentów oraz jednoznaczne powiązanie parametrów procesu z obserwowaną jakością spoin, co stanowi istotną wartość merytoryczną pracy. Jednocześnie, w niektórych przypadkach, brakuje szczegółowego uzasadnienia doboru wartości mocy, prędkości czy położenia ogniska, co ogranicza pełną ocenę optymalności parametrów.

Rozdział 11 Dobór parametrów technologicznych napawania hybrydowego, dotyczący napawania hybrydowego laser + MAG, przedstawia kompleksowy opis technologii, charakterystykę procesów oraz zestawienie parametrów dla różnych wariantów próbek. Szczegółowo omówiono rolę mocy lasera, prędkości napawania, podawania drutu, natężenia i napięcia łuku spawalniczego oraz konfiguracji L-A, w kształtowaniu geometrii napoin i właściwości strefy wpływu ciepła. Autor prawidłowo wykazał wpływ energii liniowej na rozwój struktury dendrytycznej i jakość spoin, podkreślając znaczenie precyzyjnego zharmonizowania wszystkich parametrów w celu uzyskania powtarzalnych i wysokiej jakości połączeń. Rozdział wyróżnia się wysokim poziomem merytorycznym, klarownym opisem procedury i uzasadnieniem przyjętych ustawień w kontekście technologii.

Rozdział 12 Wytyczne technologiczne spawania laserowego i hybrydowego rur kompozytowych, pełni funkcję syntetyzującą i aplikacyjną, porządkując wyniki badań technologicznych oraz wiążąc je z wymaganiami normowymi (PN-EN ISO 13919-1). Zaletą rozdziału jest jednoznaczne zestawienie parametrów i odwołanie do aspektów praktycznych, jednak jego treść w dużej mierze powiela wnioski rozdziału 11, nie wprowadzając istotnego pogłębienia ani uogólnienia. Brak wyraźnego rozróżnienia między wynikami badań a rekomendacjami technologicznymi oraz dominacja części opisowej ograniczają charakter syntetyczno-aplikacyjny rozdziału. Dla pełnej wartości naukowej wskazane byłoby sformalizowanie wytycznych, określenie zakresów dopuszczalnych parametrów oraz warunków granicznych ich stosowalności.

Podsumowując, rozdziały 10–12 stanowią spójną i merytorycznie poprawną część pracy, umożliwiającą ocenę wpływu parametrów technologicznych na jakość spoin i strukturę metalurgiczną złączy. Rozdziały te wykazują wysoki poziom precyzji technicznej, systematyczności w prezentacji danych i logiczne powiązanie obserwacji z przyjętymi ustawieniami procesu. Jednocześnie zauważalna

jest wtórność części treści w rozdziale 12 względem rozdziału 11, co ogranicza autonomiczny charakter wytycznych technologicznych. Mimo to całość rozdziałów związanych z technologią spawania spełnia wymagania pracy doktorskiej i stanowi solidną podstawę do dalszej optymalizacji procesów spawania laserowego i napawania hybrydowego w zastosowaniach przemysłowych.

Rozdział 13. Kwalifikacja technologii spawania rur kompozytowych

Rozdział 13, poświęcony kwalifikacji technologii spawania rur kompozytowych, pełni funkcję logicznego zakończenia części technologicznej pracy, stanowiąc formalne potwierdzenie możliwości przemysłowego zastosowania opracowanych procedur spawania laserowego i hybrydowego. Autor wykazuje dobrą znajomość wymagań normowych PN-EN ISO 15614, prawidłowo rozróżniając kwalifikację technologii laserowej (PN-EN ISO 15614-11) i hybrydowej (PN-EN ISO 15614-14). Zakres badań nieniszczących i niszczących odpowiada normatywnym wymaganiom, a wyniki jednoznacznie wskazują na spełnienie kryteriów akceptacji.

Jednocześnie, ponownie należy zauważyć, że treść rozdziału w dużej mierze powiela informacje z rozdziałów 11 i 12, w tym opis materiałów, konfigurację procesu oraz wnioski dotyczące jakości złączy. W efekcie rozdział ma przede wszystkim charakter sprawozdawczy i formalny, ograniczając wkład poznawczy w stosunku do wcześniejszych części pracy. Z punktu widzenia pracy doktorskiej można wskazać obszary wymagające wzmocnienia, takie jak: ilościowe porównanie wyników kwalifikacji z wymaganiami normowymi, krytyczna analiza potencjalnych ograniczeń technologii (np. tolerancji szczeliny, wpływu zmienności parametrów), a także bardziej wyraźne zaznaczenie różnic w wrażliwości procesowej między technologią laserową i hybrydową.

Podsumowując, rozdział 13 spełnia wymogi formalne i aplikacyjne rozprawy doktorskiej, potwierdzając poprawność opracowanych parametrów i technologii spawania. Jego wartość naukowa mogłaby zostać podniesiona poprzez wyraźniejsze zdystansowanie się od treści rozdziałów wcześniejszych, wprowadzenie krytycznej refleksji nad ograniczeniami technologii oraz wskazanie kierunków dalszych badań przed pełnym wdrożeniem przemysłowym.

Rozdziały 14–16

Rozdziały 14–16 tworzą rozbudowaną część analityczno-syntetyczną pracy, której celem jest ocena wpływu technologii spawania laserowego i hybrydowego na mikrostrukturę, właściwości mechaniczne oraz jakość złączy rur kompozytowych. Pod względem merytorycznym są one poprawne i oparte na bazie eksperymentalnej. Autor wykazuje dobrą znajomość metod badawczych, w tym analizy mikrostrukturalnej LM i SEM/EDS, prawidłowo interpretuje zmiany strukturalne, a wyniki badań mechanicznych i nieniszczących jednoznacznie potwierdzają wysoką jakość połączeń spawanych, zgodną z wymaganiami poziomu jakości „B” wg PN-EN ISO 13919-1.

Jednocześnie słabą stroną omawianych rozdziałów jest nadmiar przekazanych treści. Rozdział 14 koncentruje się na wpływie technologii hybrydowej na mikrostrukturę i właściwości, rozdział 15 ponownie opisuje strukturę złączy, natomiast rozdział 16 syntetyzuje wyniki badań NDT, mechanicznych i metalograficznych, co powoduje powtarzanie tych samych informacji i wniosków, zwłaszcza dotyczących mikrostruktur austenitycznych i dendrytycznych, charakterystyki SWC oraz braku wad w spoinach. Rozdział 16 pełni w dużej mierze funkcję rozszerzonego streszczenia poprzednich rozdziałów, ograniczając jego wkład poznawczy.

Kolejnym mankamentem jest mało krytyczny charakter interpretacji wyników. Obserwowane zjawiska potencjalnie negatywne, takie jak wydzielania faz typu Lavesa, pas odwęglenia czy lokalna segregacja Nb i Mo, są jedynie odnotowane, bez analizy ich wpływu na trwałość i bezpieczeństwo eksploatacyjne rur kompozytowych, zwłaszcza przy podwyższonych temperaturach pracy. Brakuje również wskazania granicznych warunków stosowalności technologii, np. przy zmianie parametrów cieplnych czy większych grubościach ścianek.

W odniesieniu do wcześniejszych rozdziałów 11–13 rozdziały 14–16 nie wprowadzają istotnie nowych zmiennych badawczych, lecz pogłębiają interpretację już omawianych wyników, co w niektórych miejscach prowadzi do powtórzeń i rozproszenia wniosków.

Podsumowując, rozdziały 14–16 są merytorycznie poprawne, bogate w dane eksperymentalne i świadczą o znacznym nakładzie pracy Autora, jednak ich wartość naukowa mogłaby zostać zwiększona poprzez ograniczenie powtórzeń, wyraźniejsze rozdzielenie opisów, analizy i syntezy, bardziej

krytyczną ocenę ograniczeń technologii oraz silniejsze uogólnienie wyników. W obecnej formie spełniają wymagania rozprawy doktorskiej, lecz ich uporządkowanie i większa dyscyplina interpretacyjna, pozwoliłyby w pełni wykorzystać zgromadzony materiał badawczy.

Rozdział 17 Wnioski końcowe z wykonanych badań oraz perspektywy badawcze.

Rozdział 17 stanowi formalnie poprawne i logiczne zakończenie rozprawy doktorskiej, porządkując uzyskane rezultaty w postaci wniosków naukowych, wdrożeniowych oraz perspektyw dalszych badań. Jego struktura jest zgodna ze standardami prac doktorskich i czytelnie rozdziela aspekty poznawcze od aplikacyjnych. Wnioski naukowe są spójne z wynikami przedstawionymi w rozdziałach 14–16 i trafnie odzwierciedlają obserwowane zjawiska mikrostrukturalne, takie jak drobnienie ziaren, lokalne struktury Widmanstättena w stali 4L7, austenityczny charakter napoin 3R12 i Sanicro 38, występowanie segregacji Nb i Mo oraz faz typu Lavesa, a także zachowanie ciągłości metalurgicznej i korzystnych właściwości mechanicznych. Z naukowego punktu widzenia wnioski są poprawne, ale w większości pozostają w sferze opisu i powielają wcześniejsze ustalenia, nie oferując nowych wniosków ani uogólnień. Pożądane byłoby silniejsze odniesienie wniosków do postawionych celów i tez pracy oraz wyraźniejsze wskazanie oryginalnego wkładu autora.

Część wdrożeniowa rozdziału jest jego najmocniejszym elementem, jednoznacznie wykazując zgodność opracowanych technologii z normami kwalifikacyjnymi oraz potencjał przemysłowego zastosowania w energetyce i przemyśle chemicznym. Odniesienie do zgłoszenia patentowego dodatkowo wzmacnia innowacyjny charakter pracy. Jednocześnie w tej części dominuje ton afirmacyjny i brak jest krytycznej refleksji nad kosztami wdrożenia, wrażliwością procesu na odchylenia parametrów czy ograniczeniami technologii w szerszym zakresie średnic i grubości rur.

Podrozdział poświęcony perspektywom dalszych badań został opracowany poprawnie i adekwatnie do charakteru pracy doktorskiej. Zaproponowane kierunki badań wynikają z obserwowanych zjawisk, takich jak segregacja pierwiastków, trwałość czy automatyzacja procesu, jednak nie wskazano wyraźnych priorytetów ani kluczowych problemów wymagających rozwiązania.

Podsumowując, rozdział 17 spełnia formalne i merytoryczne wymagania zakończenia rozprawy doktorskiej. Jest spójny, logiczny i zgodny z treścią pracy, skutecznie domyka ją w aspekcie praktycznym i wdrożeniowym, jednak w dużej mierze pełni funkcję podsumowującą i powtarza wcześniej przedstawione treści. W ograniczonym stopniu eksponuje oryginalność i uogólnienia naukowe, a jego ton pozostaje afirmacyjny, z niewielką refleksją krytyczną. Mimo tych uwag rozdział, w połączeniu z bogatym materiałem badawczym, potwierdza osiągnięcie założonych celów pracy doktorskiej, szczególnie w wymiarze praktycznym i wdrożeniowym.

3.3. Ocena poprawności tytułu rozprawy

Tytuł pracy *„Wpływ technologii spawania laserowego/hybrydowego na strukturę i właściwości złączy doczołowych rur kompozytowych stosowanych w przemyśle energetycznym”* oceniam za zgodny z treścią rozprawy.

3.4. Ocena doboru literatury

Dobór literatury w ocenie recenzenta jest poprawny. Na 92 pozycje (nie wliczając w to norm) 90% stanowią publikacje nie starsze niż 5 lat, co świadczy o znajomości osiągnięć w tej dziedzinie z ostatnich lat. Warto zwrócić uwagę, że Doktorant zamieściła obszerny wykaz norm z obszaru realizowanego tematu (poz. 93-119).

3.5. Wskazanie oraz ocena celu pracy.

Cel rozprawy doktorskiej został sformułowany jasno i jednoznacznie, w sposób w pełni odpowiadający tematyce badawczej i poziomowi rozprawy doktorskiej. Autor trafnie identyfikuje istotny i aktualny problem technologiczny, jakim jest możliwość zastosowania nowoczesnych procesów spawania laserowego i hybrydowego (laser + MAG) do wykonywania złączy doczołowych rur kompozytowych dwuwarstwowych, przeznaczonych do eksploatacji w wymagających warunkach sektora energetycznego.

Problem badawczy został precyzyjnie zdefiniowany i odnosi się do kluczowych czynników warunkujących jakość złączy spawanych, w tym pełnego przetopu, jednorodności mikrostrukturalnej i wymaganych właściwości mechanicznych. Interdyscyplinarny charakter pracy, integrujący inżynierię

materiałową, spawalnictwo i eksploatację elektrowni, odzwierciedla dojrzałe i kompleksowe podejście badawcze.

Główny cel, którym jest *opracowanie innowacyjnej technologii spawania doczołowego rur kompozytowych metodami spawania laserowego i hybrydowymi*, został sformułowany w sposób mierzalny, z wyraźnym odniesieniem do wymagań norm oraz kryteriów stosowanych w przemyśle energetycznym. Proponowane podejście, oparte na systematycznej optymalizacji krytycznych parametrów procesu, jest logicznie ustrukturyzowane i uzasadnione metodologicznie.

Hipotezy podstawowe i szczegółowe są spójne z celem rozprawy i wzajemnie się uzupełniają. Ich charakter umożliwia jednoznaczną weryfikację eksperymentalną, w szczególności w zakresie wpływu parametrów procesu na mikrostrukturę spoiny, charakterystykę strefy wpływu ciepła i właściwości mechaniczne, a także skuteczność spawania hybrydowego w poprawie jakości połączeń i wydajności procesu.

Utylitarny cel dodatkowo wzmacnia wartość pracy, podkreślając jej charakter aplikacyjny i potencjał wdrożeniowy. Autor przekonująco dowodzi, że wyniki badań mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle energetycznym, chemicznym i petrochemicznym, przyczyniając się do zwiększenia trwałości, niezawodności i efektywności ekonomicznej instalacji przemysłowych.

Podsumowując, cele i hipotezy badawcze stanowią spójną, logicznie ustrukturyzowaną i merytorycznie uzasadnioną koncepcję badawczą, która w pełni spełnia wymogi rozprawy doktorskiej o charakterze technicznym i aplikacyjnym.

3.6. Ocena zastosowanych metod badawczych.

W rozprawie doktorskiej wykorzystano prawidłowo dobrany zestaw metod badawczych, obejmujący badania mikrostrukturalne, mechaniczne i nieniszczące. Takie podejście umożliwia wieloaspektową ocenę jakości spoin i odpowiednio odzwierciedla interdyscyplinarny charakter problemu badawczego. Podsumowując, dobór metod jest adekwatny do sformułowanych celów i hipotez badawczych.

Badania mikrostrukturalne z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej (LM) i skaningowej mikroskopii elektronowej w połączeniu z analizą składu chemicznego (SEM/EDS) pozwoliły na poprawną ocenę obszaru połączenia, ocenę morfologii mikrostrukturalnej oraz wykrycie lokalnych niejednorodności w składzie chemicznym. W połączeniu z pomiarami twardości i badaniami mechanicznymi, metody te umożliwiają korelację cech mikrostrukturalnych z właściwościami wytrzymałościowymi spoin, co stanowi istotny atut metodologiczny rozprawy. Zastosowanie badań nieniszczących (NDT) dodatkowo zwiększa praktyczne znaczenie badań, umożliwiając ocenę jakości spoin zgodną z praktyką przemysłową.

Na szczególne podkreślenie zasługuje komplementarność przyjętego podejścia badawczego. Mikroskopia świetlna zapewnia przegląd struktury spoiny, natomiast SEM/EDS umożliwia bardziej szczegółową analizę morfologii faz wtórnych i składu chemicznego. Badania mechaniczne przeprowadzone zgodnie z obowiązującymi normami zapewniają wiarygodność wyników i umożliwiają porównanie ich z danymi literaturowymi. Metody nieniszczące uzupełniają program eksperymentalny, dostarczając informacji jakościowych niezbędnych do oceny integralności i trwałości połączeń.

Należy jednak zwrócić uwagę na kilka niedociągnięć w opisie i organizacji metodologii badań. W rozprawie nie określono jednoznacznie liczby próbek badanych w ramach poszczególnych serii eksperymentalnych, co utrudnia ocenę reprezentatywności i powtarzalności wyników oraz uniemożliwia ocenę wiarygodności statystycznej. Ponadto brak spójnego i jednoznacznego systemu oznaczania próbek nie daje możliwości bezpośredniego powiązania wyników badań mikrostrukturalnych, mechanicznych i nieniszczących z odpowiadającymi im parametrami spawania. Chociaż zestawienie parametrów spawania oraz oznaczenie poszczególnych próbek zostało przedstawione w tabelach 7–8 w rozdziale 10, jego przedstawienie w dalszej części rozprawy utrudnia prześledzenie związków przyczynowo-skutkowych między warunkami procesu a uzyskanymi właściwościami spoiny i ogranicza zakres kompleksowej analizy porównawczej badanych wariantów spawania.

Ograniczenia te nie podważają oceny trafności zastosowanych metod badawczych. Wskazują jednak na potrzebę bardziej rygorystycznej i systematycznie ustrukturyzowanej prezentacji metodologii

eksperymentalnej, co znacznie poprawiłoby przejrzystość badań i podniosło wartość naukową uzyskanych wyników.

3.7. Ocena dotycząca opracowania i omówienia wyników badań.

Opracowanie i analiza wyników badań w rozprawie doktorskiej są poprawne, jednak cechuje je nadmierna opisowość i ograniczona analiza zależności pomiędzy uzyskanymi wynikami. Autor przedstawił obszerny materiał ilustracyjny, obejmujący badania niszczące, makroskopowe i mikrostrukturalne, jednak prezentacja wyników w niewielkim stopniu uwzględnia ocenę zależności pomiędzy parametrami procesu, mikrostrukturą a właściwościami mechanicznymi złączy. Wiedza autora na temat badanych materiałów oraz zjawisk zachodzących w procesach spawania laserowego i hybrydowego jest duża, jednak brak ilościowych danych i syntetycznej analizy ogranicza naukowy charakter opracowania. Przykładowo w rozdziale poświęconym badaniom mikroskopowym zauważalny jest brak analizy ilościowej. Autor ogranicza się głównie do jakościowego opisu obserwowanych mikrostruktur, nie podając wartości liczbowych dla istotnych parametrów, takich jak średnia wielkość ziarna, szerokość strefy wpływu ciepła czy ilościowe charakterystyki geometrii spoiny (np. wysokość i szerokość lica oraz grani, szerokość SWC, itp.). Brak tych danych znacząco utrudnia porównywanie wyników między różnymi wariantami technologii spawania oraz w odniesieniu do danych literaturowych.

Dodatkowo stosunkowo niewielka liczba badanych próbek, których nie zdefiniowano jednoznacznie ani nie uzasadniono jej reprezentatywności, budzi wątpliwości co do możliwości uogólnienia wniosków. Ograniczenie to wpływa na ocenę powtarzalności i wiarygodności wyników, szczególnie w kontekście potencjalnych zastosowań przemysłowych.

Pomimo powyższych ograniczeń, wyniki przedstawiono w sposób spójny i prowadzący do logicznych wniosków. Niemniej jednak włączenie ilościowych analiz, zwiększenie liczby badanych próbek oraz przyjęcie bardziej syntetycznego i analitycznego podejścia do interpretacji wyników znacząco zwiększyłoby naukową wartość pracy.

3.8. Praktyczne zastosowanie uzyskanych badań.

Wyniki badań przedstawione w rozprawie doktorskiej charakteryzują się istotnym potencjałem aplikacyjnym, szczególnie w obszarze wytwarzania dwuwarstwowych rur kompozytowych przeznaczonych do pracy w wymagających warunkach eksploatacyjnych, typowych dla przemysłu energetycznego, chemicznego i petrochemicznego. Zastosowanie technologii spawania laserowego oraz hybrydowego (laser + MAG) wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju nowoczesnych metod łączenia materiałów o podwyższonych wymaganiach jakościowych.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że autor przeprowadził kwalifikację technologii spawania zgodnie z obowiązującymi wymaganiami normatywnymi, co istotnie zwiększa praktyczną wartość uzyskanych wyników oraz potwierdza możliwość ich zastosowania w warunkach przemysłowych. Przeprowadzone badania nieniszczące oraz niszczące potwierdziły, że opracowana technologia umożliwia uzyskanie złączy spełniających podstawowe kryteria jakościowe i eksploatacyjne dla elementów ciśnieniowych.

Dodatkowo autor zamieścił w pracy informację o złożeniu zgłoszenia patentowego dotyczącego opracowanego rozwiązania technologicznego – nr P.435026 (pkt 5, str. 118), co świadczy o nowatorskim charakterze prowadzonych badań oraz ich potencjale wdrożeniowym.

Podsumowując, rozprawa doktorska posiada wyraźny wymiar praktyczny, a uzyskane wyniki, poparte kwalifikacją technologii spawania oraz zgłoszeniem patentowym, potwierdzają przydatność zaproponowanych rozwiązań dla zastosowań przemysłowych i stanowią solidną podstawę do ich dalszego doskonalenia i wdrażania.

3.9. Uwagi krytyczne

Zakres przeprowadzonych badań oraz wykorzystanych metod badawczych wskazuje na znaczny nakład pracy Autora oraz próbę kompleksowego ujęcia analizowanego zagadnienia. Jednocześnie szczegółowa analiza treści rozprawy ujawnia szereg kwestii wymagających doprecyzowania, uzupełnienia lub wyjaśnienia, które mają istotne znaczenie dla oceny poprawności metodologicznej, jednoznaczności interpretacji wyników oraz ogólnej jakości naukowej i edytorskiej pracy.

Poniżej przedstawiono uwagi krytyczne, których celem jest umożliwienie Doktorantowi odniesienia się do wskazanych zagadnień oraz doprecyzowanie elementów pracy mających kluczowe znaczenie dla jej merytorycznej oceny.

1. W rozdziale 2, dotyczącym charakterystyki rur kompozytowych, opisano dwa układy bimetalowe: 3R12/4L7 oraz Sanicro 38/4L7, które są następnie analizowane w części badawczej pracy. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, dlaczego analizowano wyłącznie te układy oraz o odniesienie się do przykładów innych układów bimetalowych stosowanych w przemyśle.
2. Rozdział 3 opisuje proces spawania rur bimetalowych, jednak jego konstrukcja jest nie w pełni czytelna. Natłok informacji dotyczących parametrów oraz techniki procesu spawania zaciera granicę pomiędzy częścią literaturową a częścią badawczą pracy. Proszę Doktoranta o odniesienie się do struktury rozdziału i doprecyzowanie co dotyczy literatury, a co własnych badań.
3. W rozdziale 6 Doktorant opisał materiały do badań, układy bimetalowe 3R12/4L7 oraz Sanicro 38/4L7. Proszę o przedstawienie własności mechanicznych materiałów w stanie wyjściowym oraz o odniesienie się do wartości uzyskanych podczas badań mechanicznych połączeń spawanych.
4. W podrozdziale 7.4 Autor przedstawił analizę naprężeń w złączu spawanym metodą radiograficzną, podając metodykę, parametry badania oraz końcowe wartości naprężeń. Proszę Doktoranta o przedstawienie danych źródłowych, na podstawie których uzyskano zaprezentowane wyniki.
5. W rozdziale 8.1, „Badania twardości”, Autor przedstawił na rys. 18 i 19 wykresy rozkładu twardości w poszczególnych punktach pomiarowych, wskazanych na rys. 17. Z naukowego punktu widzenia wizualizacja danych w formie wykresu liniowego może prowadzić do błędnej interpretacji wyników, gdyż sugeruje ciągłość pomiędzy punktami pomiarowymi. W przypadku zastosowania takiej formy prezentacji wyników wskazane jest jednoznaczne zaznaczenie, że służy ona jedynie do zobrazowania tendencji zmian twardości w poszczególnych strefach połączenia spawanego i materiału rodzimego.
6. Rysunek 23 (str. 73) dokumentuje wyniki próby zginania, jednak opis rysunku jest nieuporządkowany. Proszę o wyjaśnienie różnicy pomiędzy rys. 23 c i d, ponieważ z opisu wynika, że w obu przypadkach przedstawiono „*próbę zginania poprzecznego, widok próbki od strony grani*”.
7. W tym samym rozdziale sformułowano wniosek, że „*złącza wykazały pełną ciągłość strukturalną i odporność na naprężenia zgniatające i zginające*”. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, czy użyte pojęcia są zgodne z terminologią techniczną oraz o sprecyzowanie, w jaki sposób rozumiane są „*naprężenia zgniatające*”.
8. Na stronie 71 Doktorant przedstawił wyniki statycznej próby rozciągania połączenia spawanego i na tej podstawie sformułował wniosek o możliwości stosowania układu Sanicro 38/4L7 w instalacjach narażonych na wysokie i zmienne obciążenia mechaniczne. Proszę o wyjaśnienie, czy takie stwierdzenie jest uprawnione w kontekście przeprowadzonej statycznej próby rozciągania.
9. Na stronach 76–79 (rys. 24–27) w podpisach pod rysunkami wprowadzono wartości kątów 0° , 120° oraz 240° nie objaśniając ich znaczenia w treści rozdziału. Proszę Doktoranta o doprecyzowanie tych oznaczeń.
10. Na stronach 83 oraz 87 (rys. 31 i 35) przedstawiono wyniki analizy EDS w wybranych punktach spoiny. Proszę Autora o wyjaśnienie przyczyn występowania w tych obszarach stężeń węgla w zakresie od 1,1% do 35,3%, przy maksymalnej zawartości węgla w materiałach wyjściowych wynoszącej 0,18% (stal 4L7), oraz o odniesienie się do wątpliwości interpretacyjnych tych wyników.
11. W rozdziale 10 przedstawiono parametry spawania laserowego warstwy wewnętrznej rury bimetalowej (tab. 7) oraz parametry napawania hybrydowego warstwy zewnętrznej (tab. 8). Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, na jakiej podstawie przyjęto zaprezentowane parametry spawania oraz o wyjaśnienie różnic pomiędzy parametrami zastosowanymi dla próbek D3 i D5 oraz D4 i D6.
12. Analiza treści rozdziału 10, w szczególności tab. 7 i 8, rodzi wątpliwości dotyczące rzeczywistej liczby próbek wykorzystanych w części badawczej oraz sposobu ich oznaczania. Zastosowanie tych samych oznaczeń dla próbek spawanych laserowo i napawanych hybrydowo (np. D1 i D2) wprowadza niejednoznaczność. W tabeli 7 opisano próbki od D1 do D6, natomiast na str. 80 (i kolejnych) analizowano próbki D1.2 i D2.1 oraz str. 81 (i następnych) próbka D12. Proszę o

wyjaśnienie, ile próbek przebadano, w jaki sposób zostały one oznaczone oraz czym się różniły (parametry spawania, zastosowany gaz osłonowy lub inne parametry technologiczne).

13. W podrozdziale 14.1 „Wnioski końcowe” (s. 112) Doktorant sformułował wniosek, że *„technologia hybrydowa, szczególnie dla Sanicro 38, wykazała lepszą odporność na korozję i jest zalecana do środowisk chemicznie agresywnych”*. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, na jakiej podstawie sformułowano ten wniosek.
14. Ostatnia uwaga ma charakter ogólny i dotyczy znacznej liczby powtórzeń treści w pracy. Część z nich wynika z braku staranności edycyjnej (np. s. 76), jednak w głównej mierze dotyczą one powielania w kolejnych rozdziałach wcześniej przedstawionych wyników lub wniosków (np. s. 11–12 – skład chemiczny materiałów, tab. 7 i 8 oraz tab. 9 i 10), a także częściowo rozdziałów 11–16. Tak duża liczba powtórzeń negatywnie wpływa na czytelność pracy oraz prowadzi do nadmiernego rozbudowania jej struktury (ilość rozdziałów i podrozdziałów).

3.10. Uwagi edycyjne:

1. Układ pracy jest bardzo rozbudowany, co skutkuje dużą liczbą rozdziałów i podrozdziałów. W konsekwencji prowadzi to do wielokrotnego powtarzania treści podobnych, a niekiedy wręcz identycznych. Przykładem mogą być:
Rozdział 8.4 Podsumowanie i wnioski z badań niszczących bez badań makro i mikroskopowych,
Rozdział 14 Ocena wpływu technologii spawania hybrydowego na strukturę i właściwości rur kompozytowych oraz Rozdział 16 Analiza wyników badań po próbach technologicznych spawania laserowego i napawania hybrydowego,
Rozdział 9.4 Podsumowanie badań mikroskopowych oraz Rozdział 15 Ocena struktury połączeń spawanych.
Z punktu widzenia logiki pracy naukowej zasadne byłoby wyraźne rozdzielenie części metodycznej i wynikowej od części analityczno-dyskusyjnej. Metodyka badań oraz prezentacja wyników powinny być zakończone krótkim komentarzem podsumowującym, natomiast rozdziały o charakterze analitycznym powinny koncentrować się na dyskusji otrzymanych wyników oraz formułowaniu wniosków.
2. Rozdział 7 Metody badań oraz Rozdział 8 Metodyka badań – badania niszczące nie ograniczają się wyłącznie do opisu metodyki, lecz zawierają również prezentację wyników badań. Fakt ten nie znajduje odzwierciedlenia w tytułach rozdziałów, które należałoby odpowiednio zmodyfikować, aby były zgodne z ich rzeczywistą zawartością merytoryczną.
3. Autor ujął normy w spisie literatury, jednak w tekście pracy nie zawsze odwołuje się do pozycji, pod którymi zostały one zamieszczone (m.in. str. 5, 6, 54, 106, 108). Ponadto w jednym przypadku przy cytowaniu nie podano źródła literaturowego (str. 70).
4. Rys. 3, str. 14 – opis rysunków w języku angielskim. Skoro cała praca jest w języku polskim, to opisy powinny być również w języku polskim. Taka sama uwaga odnosi się do podpisu po rys. 27 (str. 79) *„...warstwa zewnętrzna cladding wykonana poprzez napawanie hybrydowe”*.
5. Autor w całej pracy podpisuje rysunki małą literą (rys.) a na str. 96-97 dużą (Rys. 51 i Rys. 52). W całej pracy powinno to być ujednolicone i raczej skrót powinien być z dużej litery.
6. Poziom edytorski prezentacji rysunków mógłby zostać podniesiony. Umieszczanie rysunków w tabelach z widocznym obramowaniem (np. rys. 10, 12, 15–17, 22–53) jest mało estetyczne i niezalecane w pracach naukowych.
7. W przypadku rysunków przedstawiających mikrostruktury (rys. 28–30, 33–34, 40–43, 41, 51–53) celowe byłoby wprowadzenie dodatkowych oznaczeń (strzałek, opisów), wskazujących charakterystyczne cechy omawianych struktur, co ułatwiłoby ich analizę i interpretację.
8. Podpisy pod rysunkami, w niektórych fragmentach pracy, wymagają doprecyzowania i ujednolicenia. Przykładowo podpis pod rys. 10 mógłby zostać uproszczony i sformułowany jako: Rys. 10. Widok stanowiska badawczego do zrobotyzowanego spawania laserowego: 1 – laser Nd:YAG, 2 – chłodnica lasera, 3 – kabina ochronna, 4 – robot przemysłowy, 5 – układ sterowania, 6 – panel sterujący, 7 – głowica laserowa, 8 – światłowód, 9 – stacja rozprężania gazów roboczych. Podobnie podpis pod rys. 15 mógłby zostać doprecyzowany i brzmieć: Rys. 15. Widok połączenia spawanego powierzchni zewnętrznej rury kompozytowej: a) 3R12/4L7, b) Sanicro 38/4L7 – badania wizualne.

9. W pracy użyto sformułowania o charakterze potocznym, skróty myślowe lub określenia nieprecyzyjne z punktu widzenia języka technicznego, m.in.:
 - (str. 26) - „odpowiada on z grubsza klasie ER70S-6/ER80S- D2 zgodnie z AWS”,
 - (str. 32) - „Na rysunku 9 znajduje się zrobotyzowane stanowisko...” – powinno być przedstawiono,
 - (str. 51) - „Opracowane złącza spełniają wymagania normy...” – lepiej wykonane złącza,
 - (str. 52) - „Stworzenie podstaw do standaryzacji procesu...” – Opracowanie podstaw.
 - (str. 58) - „W przypadku złączy doczołowych rur, szczególną uwagę poświęcono gładkości przejścia między napoiną a materiałem rodzinnym, symetrii lica i grani spoiny...” – co to jest gładkość przejścia, powinno być materiał rodzimy.
 - (str. 59) - „...a po zakończeniu naświetlania filmy były wywoływane chemicznie...” – klisze nie filmy.
 - (str. 64) - „Badania twardości przeprowadzono metodą Vickersa, stosując obciążenia 98N (HV10)...” w pomiarach twardości, zgodnie z definicją, podaje się siłę (w N). Jeśli podaje Pan obciążenie to nie N a kg.
 - (str. 66) - „...wynika ze złożonej struktury chemicznej stopu...” – co to jest struktura chemiczna.
 - (str. 67) - „w dopuszczalny zakresie dla stali nierdzewnych...”, „...wartości twardości były nieco wyższe niż przy materiale...” - czy to są określenia precyzyjne i techniczne?
 - (str. 68) - „...przy zachowaniu bezpieczeństwa strukturalnego...” – czy mógłby Doktorant wyjaśnić to pojęcie.
 - (str. 86) - „płynny gradient składu”, (str. 82) „płynny gradient stężeń”, „...płynnym rozkładem stężeń pierwiastków.” – czy to są określenia techniczne?
 - (str. 98) - „Metal spoiny 4L7 jest drobno dendrytyczny...” – struktura spoiny.
 - (str. 103) - „...określono równaniem (rów. 1)...” – bez skrótu rów. w nawiasie.
 - (str. 104) - „...bardziej masywnych spoin...” – co to znaczy i czy jest to określenie techniczne?
10. W pracy występują nieliczne błędy literowe. Nie wpływają one istotnie na zrozumienie treści, jednak powinny zostać usunięte przez Doktoranta na etapie korekty redakcyjnej.

Powyższe uwagi nie umniejszają znaczenia przeprowadzonych badań, lecz wskazują obszary, których dopracowanie w kolejnych publikacjach i opracowaniach naukowych pozwoli na zwiększenie przejrzystości przekazu, poprawę jakości formalnej oraz lepsze dostosowanie prac autora do standardów obowiązujących w piśmiennictwie naukowo-technicznym.

Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Radosława Ciokana, pt. „Wpływ technologii spawania laserowego/hybrydowego na strukturę i właściwości złączy doczołowych rur kompozytowych stosowanych w przemyśle energetycznym”, podejmuje istotny problem z obszaru inżynierii materiałowej, osadzony przede wszystkim w kontekście technologicznym i aplikacyjnym. Rozprawa doktorska prezentuje dobry poziom merytoryczny, metodologiczny i aplikacyjny. Autor wykazał się dobrą znajomością technologii spawania laserowego i hybrydowego, umiejętnością prowadzenia badań eksperymentalnych oraz zdolnością do interpretacji wyników. Z punktu widzenia naukowego rozprawa ma w przeważającej mierze charakter aplikacyjno-badawczy, a zakres pogłębienia teoretycznego oraz dyskusji mechanizmów zjawisk materiałowych mógłby być miejscami bardziej rozwinięty. Niemniej jednak przedstawione wyniki badań, ich skala oraz konsekwentne powiązanie z warunkami rzeczywistych procesów technologicznych świadczą o umiejętności samodzielnego planowania i realizacji prac badawczych oraz poprawnej interpretacji uzyskanych rezultatów.

Szczególną wartością pracy jest jej wyraźny wymiar praktyczny, obejmujący opracowanie i weryfikację technologii możliwych do bezpośredniego zastosowania w warunkach przemysłowych. Uzyskane rezultaty mają charakter użyteczny, a zaproponowane rozwiązania mogą stanowić podstawę do dalszych prac rozwojowych i wdrożeniowych.

Niezależnie od wskazanych uwag o charakterze naukowym, całość rozprawy spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w Art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pana mgr inż. **Radosława Ciokana** do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

Prof. Mariusz Prażmowski

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)