

*Recenzja spełnia wymogi formalne*

Przewodniczący Rady Dyscypliny  
Inżynierii Lądowej i Transportu

Prof. dr hab. inż. Piotr LACKI  
Politechnika Częstochowska

dr hab. inż. Marcin Stańka, prof. PŚ Częstochowa, 23.11.2021

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Jurka  
nt. „Zwiększenie zasięgu operacyjnego podestu ruchomego pojazdów samochodowych  
przy zachowaniu masy własnej pojazdu”

### Formalna podstawa recenzji

Podstawę formalną opracowania przedmiotowej recenzji, stanowiła Uchwała Nr 68/2021 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Lądowej i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 28 października 2021 roku i przedstawiona w skierowanym do mnie piśmie Przewodniczącego RDN ILiT dr hab. inż. Marcina Stańka prof. PŚ.

Recenzowana praca została napisana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Tomasza Węgrzyna, przy współudziale promotora pomocniczego dr inż. Łukasza Wszółka.

### Aktualność podjętego tematu

Wprowadzenie nowych norm emisji spalin w pojazdach samochodowych wytworzyło konieczność wstawienia dodatkowych elementów, takich jak filtry cząstek stałych, katalizatory spalin oraz nowych elementów układów wydechowych, przyczyniając się do znaczącego zwiększenia masy własnej pojazdów. W rezultacie producenci poszukują nowych rozwiązań technologicznych, który nie tylko umożliwiłyby obniżenie masy konstrukcji, ale także zwiększyły ich zasięg operacyjny oraz udźwig, przy jednoczesnym zapewnieniu spełniania wymagań bezpieczeństwa.

Wzrastające zapotrzebowanie na coraz to doskonalsze materiały doprowadziło do powstania wysokowytrzymałych stali AHSS (Advanced High-Strength Steel), o doraźnej wytrzymałości na rozciąganie na poziomie 1700 MPa, ale o gorszych własnościach plastycznych, czego miarą jest wydłużenie względne na poziomie ok 5%. W stalach tych dominuje struktura martenzytyczna, która nie sprzyja dobrej spawalności tych materiałów. Stale te narażone są na pęknięcia zarówno w strefie wpływu ciepła jak i w spoinie, którym często nie zapobiega podgrzewanie wstępne. Dużą wadą tych stali jest to, że po spawaniu wytrzymałość jest na poziomie dwukrotnie mniejszym od wytrzymałości materiału rodzimego.

W związku z powyższym tematykę opiniowanej pracy uważam za celową i aktualną z naukowego i praktycznego punktu widzenia.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 26.11.2021

nr 101/19/21/22, zał.

Mocną stroną pracy jest jej badawczy charakter oraz potencjał aplikacyjny. Wyniki prac mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle. Aktualność podejmowanej tematyki potwierdzają polskie i zagraniczne doniesienia literaturowe oraz programy badawcze.

### **Zakres opiniowanej pracy**

*Struktura pracy* składa się z dziesięciu rozdziałów głównych, z których pierwsze trzy dotyczą badań literaturowych, natomiast kolejne siedem rozdziałów zawiera autorskie opracowanie tematu dysertacji. Pracę kończy spis literatury, tablic oraz rysunków. Recenzowana praca liczy 164 strony, zawiera 61 rysunków, 23 tabele oraz 113 pozycji literatury.

*We wprowadzeniu* przedstawiono tło zagadnienia którego dotyczy rozprawa doktorska. W rozdziale odniesiono się między innymi do procesów stosowanych w budowie środków transportu, oraz przepisów dotyczących emisji spalin. Zwrócono uwagę na zalety stali AHSS (Advanced High-Strength Steel), która charakteryzuje się łatwą obróbką plastyczną oraz obróbką skrawaniem. Podkreślono, że wzrasta zapotrzebowanie na powstawanie nowych materiałów i technologii spawalniczych w nowoczesnych konstrukcjach.

*Rozdział drugi* zawiera wieloaspektowe odniesienia do literatury przedmiotu. Na uwagę zasługuje interesujący przegląd literatury omówiony w tej części pracy. Rozdział prezentuje aktualny stan zagadnienia w zakresie analizowanego obszaru wiedzy.

W rozdziale scharakteryzowano podesty ruchome z wyszczególnieniem ich budowy, oraz podkreślono zalety tych konstrukcji. Do zalet tych należą między innymi możliwość bezpośredniego dojazdu do określonego obiektu, znaczna wysokość podnoszenia czy wreszcie łatwość manewrowania ruchami platformy roboczej. Podesty ruchome przejezdne wykorzystywane są w wielu dziedzinach przemysłu i gospodarki, m.in. do prac konserwacyjnych przy elewacjach budynków, napraw i konserwacji oświetleń ulicznych, napraw linii energetycznych, przycinaniu drzew, montażu reklam.

Rozdział zawiera również podział i klasyfikację podestów ruchomych przejezdnych dokonany ze względu na różne kryteria. Zwrócono uwagę, że w celu podwyższenia własności użytkowych konstrukcji podestów ruchomych przejezdnych montowanych na pojazdach samochodowych dąży się do obniżenia masy konstrukcji przy jednoczesnym zwiększeniu jej doraźnej wytrzymałości na rozciąganie. Zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie przekłada się na udźwig konstrukcji.

Istotnym aspektem poruszonym w tej części pracy jest analiza tendencji materiałowych w motoryzacji. Przedstawiono i krótko scharakteryzowano stale najczęściej wykorzystywane w motoryzacji. W tym kontekście przedstawiono stal AHSS opisując właściwości i zastosowanie, zwracając uwagę na to, że stale AHSS swoją wytrzymałość zawdzięczają połączeniu zróżnicowanych struktur, takich jak bainit, ferryt, martenzyt i austenit szczałkowy. Stale AHSS pozostają plastyczne pomimo obecności w nich martenzytu i bainitu. Na podstawie doniesień literaturowych stwierdzono, że geneza rozwoju badań prowadzonych nad stalami AHSS wynika z konieczności zwiększenia wytrzymałości i sztywności kluczowych

elementów pojazdu mających wpływ na bezpieczeństwo pasażera, oraz że przemiana austenitu szcążkowego w martenzyt podczas odkształcania stali powoduje pochłanianie energii kinetycznej, co ma znaczenie w przypadku kolizji drogowych.

Innym aspektem omawianym w pracy jest technologia spawania, stosowana terminologia, metody oceny spawalności stali, oraz sposoby poprawiające spawalność. Próby spawalności technologicznej polegają na określeniu wpływu czynników związanych z technologią wykonania i parametrami spawania, tj. rodzaju procesu i szybkości spawania lub średnicy elektrody. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych technologicznych prób jakościowych jest próba teowa, która pozwala na określenie właściwego doboru elektrod na podstawie analizy pęknięć spoin pachwinowych w specjalnie wykonanym złączu teowym. Zwrócono uwagę, że najtrudniejsze do spawania ze wszystkich stali AHSS są stale martenzytyczne. Strefa przyległa do strefy wpływu ciepła jest podatna na pęknięcia niezależnie od wstępnego podgrzania.

Rozdział charakteryzuje również stal 700 MC stosowaną najczęściej w ostatnich 10 latach do budowy podestów ruchomych. Wytrzymałość tej stali jest na pograniczu  $R_m=700$  MPa, co w nowoczesnych podestach ruchomych jest wartością niewystarczającą. W śladach grani plastyczność jest na poziomie 600 MPa, natomiast po spawaniu wytrzymałość złączy jest na poziomie 500 MPa. Do produkcji elementów podestów ruchomych coraz częściej próbuje się stosować stale DOCOL. Pomimo faktu, że stale projektowane były z myślą o łączeniu ich poprzez procesy spajania, niektóre z nich wciąż stanowią problem w opracowaniu metody i optymalnych parametrów spawania. Dużym wyzwaniem jest m.in. spawanie wysokowytrzymałych stali DOCOL o strukturze martenzytycznej. W przeglądzie literatury zwrócono uwagę, że metodą spajania, która może być z powodzeniem stosowana dla stali DOCOL M, jest zgrzewanie oporowe. Zgrzewanie tego typu jest najbardziej rozpowszechnioną metodą spawania stali DOCOL M. Przy zgrzewaniu punktowym stali DOCOL M z inną stalą miękką zaleca się stosowanie podwyższenia mocy elektrod o 20-30 %. Aby uzyskać dobre wyniki przy zgrzewaniu stali DOCOL M zaleca się zwiększenie siły nacisku elektrod o 40 – 50%, oraz wówczas wydłużyć nieco czas spajania.

W pracy odniesiono się również do innowacyjnych technologii spawania jakim jest spawanie z chłodzeniem mikro-jetowym. Jak wynika z przeglądu literatury zaletą opracowywanej technologii jest łatwa możliwość podłączenia iniektora mikro-jetowego do istniejących stanowisk spawalniczych. Pociąga to za sobą automatyczne podwyższenie jakości produktowej jako pochodnej wzrostu jakości procesowej. Nowa technologia daje praktyczną możliwość sterowania strukturą spoin różnych badanych dotychczas materiałów (różne gatunki stali niestopowych, różne stopy aluminium). Technologia chłodzenia mikro-jetowego sprawdziła się podczas spawania stali niestopowej, napawania stali do ulepszania cieplnego oraz podczas spawania stopów aluminium. Technologia ta nie była do tej pory sprawdzana przy spawaniu stali martenzytycznych o wysokiej wytrzymałości (AHSS), wykorzystywanych do budowy podestów ruchomych i innych środków transportu. Można przypuszczać, że chłodzenie mikro-jetowe może być wykorzystywane do spawania stali AHSS, co wymaga przeprowadzenia badań.

Rozdział trzeci podsumowuje przegląd literatury z którego wynika, że producenci branży motoryzacyjnej poszukują nowych rozwiązań konstrukcji podestów ruchomych przejezdnych montowanych na pojazdach samochodowych, umożliwiających obniżanie masy

w stosunku do dotychczasowych rozwiązań i równocześnie zwiększających zasięg pracy i udźwig podestu. Innym sposobem rozwiązania tego problemu jest zastosowanie materiałów o wyższych parametrach wytrzymałościowych. Proponowanym materiałem do produkcji platform mobilnych wytypowanym na podstawie literatury są stale AHSS ze względu na ich wysoką wytrzymałość na rozciąganie na poziomie 1200 – 1500 MPa. Zaproponowany materiał stwarza jednak problemy przy łączeniu. Głównym problemem spawalniczym tej grupy stali jest jednak znacznie mniejsza wytrzymałość utworzonego złącza niż materiału rodzimego i gorsze właściwości plastyczne, których miarą jest wydłużenie względne. Autor zwraca przy tym uwagę na wytrzymałość złącza, która jest dużo niższą od materiału rodzimego. Spawanie stali AHSS nie pozwala na uzyskiwanie wytrzymałości złącza na poziomie materiału rodzimego, dlatego konieczne jest podejmowanie działań w celu poprawy jej spawalności.

*Rozdział czwarty* definiuje w zwięzły sposób cel, założenia i zakres pracy. Głównym celem naukowym pracy jest opracowanie nowego sposobu spawania elementów podestu ruchomego pojazdów samochodowych. Celem użytkowym jest opracowanie nowej metody spawania trudno spawalnych stali AHSS, która pozwoli na zwiększenie zasięgu operacyjnego podestu ruchomego przy zachowaniu masy i sztywności konstrukcji oraz zapewnieniu spełnienia wymagań bezpieczeństwa.

*W rozdziale piątym* w ramach badań rozpoznawczych analizowano możliwość wykonania prawidłowego złącza z blachy przeznaczonej na elementy podestu ruchomego DOCOL 1200 M. Dobrano optymalne parametry spawania pozwalające uzyskać złącze bez wad i niezgodności spawalniczych. Sprawdzone możliwości wykorzystania zalecanego drutu elektrodowego UNION X90. Wykorzystano drut elektrodowy o średnicy 1 mm. W szczególności badania rozpoznawcze polegały na

- doborze parametrów spawania MAG cienkościennych blach ze stali DOCOL 1200M proponowanej do budowy podestów ruchomych przejezdnych montowanych na pojazdach samochodowych.
- doborze podkładki formującej grań spoiny (miedziana, ceramiczna),
- wykonaniu doświadczalnego złącza,
- doborze parametrów chłodzenia mikro-jetowego (dobór gazu chłodzącego, natężenie przepływu gazu, średnica mikrostrugi),
- dokonaniu oceny wykonanych połączeń do budowy podestów ruchomych przejezdnych montowanych na pojazdach samochodowych (badania wizualne, badania magnetyczno-proszkowe),
- przeprowadzeniu analizy badań doraźnej wytrzymałości na rozciąganie złącza występującego w podestach ruchomych.

Badania wstępne pozwoliły ustalić, że podkładka miedziana pozwoliła na uzyskanie poprawnego złącza, gdy równocześnie gazem osłonowym była mieszanka 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub>. Uzyskano złącze o małej wartości wydłużenia względnego na poziomie 4%. Podkładka ceramiczna nie zagwarantowała uzyskania poprawnego złącza bez wad i niezgodności spawalniczych przy równoczesnym stosowaniu obu badanych gazów osłonowych. Ponadto duży wpływ ma jakość złącza na ukształtowanie rowka spawalniczego. Odległość między dwoma

łączonymi elementami o grubości 1,8 mm powinna wynieść ok 1 mm. Ustalono że najkorzystniejsze parametry spawalnicze to: średnica drutu 1 mm, napięcie łuku 19 V, natężenie prądu 115 A, prędkość spawania 300 mm/min). W wykonanych badaniach energia liniowa spawania wynosi 3,4 kJ/cm.

*W rozdziale szóstym* na podstawie przeglądu literatury i badań wstępnych sformułowano tezę pracy, która zakłada, że:

*Modyfikacja procesu spawania wysokowytrzymałej stali z grupy AHSS w konstrukcji podestów ruchomych przejezdnych montowanych na pojazdach samochodowych, poprzez zastosowanie chłodzenia mikro-jetowego i podkładki miedzianej, pozwoli na uzyskanie lepszych własności mechanicznych złącza, a przez to umożliwi wydłużenie zasięgu operacyjnego podestu, bez podwyższania masy całkowitej konstrukcji i przy zachowaniu spełniania wymagań bezpieczeństwa.*

Dla udowodnienia postawionej tezy zaproponowano cykl badań. Plan badań zasadniczych został opracowany adekwatnie do postawionej tezy badawczej. Uwzględnił jej wszystkie aspekty od doboru parametrów spawania, przez badania jakości złącza aż do wykonania konstrukcji elementu rzeczywistego podestu wraz z weryfikacją strzałki ugięcia. Plany badawcze wieńczył złożony wniosek patentowy nr P.429818.

*W rozdziale siódmym* opisano i udokumentowano przeprowadzone badania zasadnicze sprawdzające możliwość wykonania podestu ruchomego poprzez spawanie zmodyfikowanym procesem spawalniczym. W rozdziale w wizualny sposób zaprezentowano stanowisko badawcze w którym zastosowano podkładkę formującą. Stanowisko podzielone jest na dwa główne obszary – pierwszy stanowi obszar stabilizacji i mocowania, drugi to półautomat spawalniczy z układem sterującym. Analiza wyników badań wizualnych pozwoliła stwierdzić, że nie występują żadne wady oraz niezgodności spawalnicze. Po ocenie złączy badaniami nieniszczącymi zaprezentowano wyniki badań niszczących. Do badań wytrzymałości wykonanych połączeń użyto maszyny wytrzymałościowej INSTRON 3369. Dla tych badań nie podano normy wg. których przeprowadzono badania, należy przypuszczać, że wykonano je zgodnie ze standardem przyjętym w badaniach wstępnych. W wykonanych złączach próbnych z wykorzystaniem podkładki miedzianej oraz z zastosowaniem chłodzenia mikro-jetowego nie występowały żadne wady i niezgodności spawalnicze (dla obu gazów mikro-jetowych: Ar, He). Niezgodności spawalnicze (pęknięcia) pojawiają się tylko przy zbyt intensywnym schładzaniu mikro-jetowym, gdy ciśnienie gazu mikro-jetowego (Ar lub He) było powyżej 0,6 MPa. Porównanie jakości badanych spoin – ocena wizualna – wykazało, że przy spawaniu blach z zastosowaniem miedzianej podkładki i chłodzenia mikro-jetowego uzyskano dobre efekty. Stwierdzono że helowe chłodzenie mikro-jetowe jest korzystniejsze od schładzania mikro-jetowego argonem. Postanowiono sprawdzić wytrzymałość zmęczeniową złącza dla helowego chłodzenia mikro-jetowego.

Opis badań zmęczeniowych nie budzi moich zastrzeżeń podano wszystkie niezbędne informacje potrzebne do analizy tego badania, poza informacją o miejscu pobrania próbek.

Badania mikrostruktury przeprowadzono na zglądach poprzecznych wg normy PN-EN ISO 9015 na mikroskopie Neophot 32. Na zdjęciach struktur zidentyfikowano martenzyt

drobnoziarnisty ferryt. Struktura ta ma wpływ na poprawę własności plastycznych, co w efekcie daje wyeliminowanie pęknięcia w spoinie i strefie wpływu ciepła (złącza próbne w badaniach rozpoznawczych miały wady i niezgodności spawalnicze, gdy nie zastosowano równocześnie podkładki miedzianej i chłodzenia mikro-jetowego). Zastosowanie podkładki miedzianej i chłodzenia mikro-jetowego pozwoliło na zwiększenie jakości połączeń podestu ruchomego (wyższa Rm, Re, A5) niż w procesie MAG bez chłodzenia. badań twardości.

Badania twardości wykonano wg normy PN EN ISO 9015-1 przy pomocy twardościomierza HPO250, metodą Vickersa HV10, temperatura badania wynosiła 20° C przy obciążeniu 98 N (10 kG). Wykonano jedną linię pomiarową na całej długości połączenia spawanego tzn. materiał rodzimy > SWC > spoina > SWC > materiał rodzimy. Wyniki zestawiono w tabeli. Dla lepszej wizualizacji można byłoby zestawzić wyniki w postaci wykresów.

Próbę zginania wykonano wg EN ISO 5173 dla połączenia spawanego wykonanego bez użycia podkładki miedzianej i bez użycia chłodzenia mikro-jetowego oraz z zastosowaniem podkładki miedzianej i chłodzenia mikro-jetowego (argonem i helem). Stwierdzono, że po zastosowaniu chłodzenia mikro-jetowego próbki charakteryzują się lepszymi własnościami plastycznymi. Podobne wnioski jakościowe uzyskano z badań radiograficznych.

Po serii badań złączy testowych opisano sposób wykonania testowego elementu podestu ruchomego o długości 9m. Szkoda, że nie zilustrowano pracy fotografiami wytworzonej struktury.

*W rozdziale ósmym* przeprowadzono dwuczynnikowe analizy wariancji w schemacie 2 x 7. Czynnikiem w modelu były rodzaj gazu (argon vs hel) oraz ciśnienie (0,0 MPa vs 0,1 MPa vs 0,2 MPa vs 0,3 MPa vs 0,4 MPa vs 0,5 MPa vs 0,6 MPa). W analizie określono istotne statystycznie efekty interakcji.

W celu określenia przewidywanych wartości współczynników takich jak: górna granica plastyczności [MPa], wytrzymałość na rozciąganie [MPa] oraz wydłużenie [%] wykonano analizę estymacji krzywej. Zmienną wyjaśniającą funkcji było ciśnienie mikrostrugi [MPa], zmiennymi wyjaśnianymi odpowiednio GGP i WnR, przy czym dopasowanie przebiegało zarówno dla ogółu obserwacji, jak i w podgrupach ze względu na typ gazu (argon, hel). Wstępne oszacowanie współczynników dopasowania uwzględniało wiele możliwych typów funkcji – w tym także logarytmicznych, transformacyjnych, sklepanych czy wykładniczych, niemniej kształt linii na wykresie, oraz brak różnic między wynikami analizy poziomu dopasowania (wartości ANOVA) wskazywały, iż funkcja ma postać wielomianową. Alternatywą dla tej funkcji jest funkcja liniowa; ponieważ „załamanie” linii dopasowania przebiegało tylko dla najwyższej wartości ciśnienia mikrostrugi przedstawiono dopasowanie zarówno liniowe jak i wielomianowe.

Przeprowadzona analiza statystyczna pozwoliła na zbudowanie modelu matematycznego własności mechanicznych złączy przy zastosowaniu technologii chłodzenia mikro-jetowego.

*Rozdział dziewiąty* zawiera interesujące informacje na temat aplikacji wyników badań do procesu produkcyjnego. W rozdziale tym Autor dokonuje syntezy wiedzy z wszystkich badań laboratoryjnych i przedstawia sposób wdrożenia uzyskanych wyników badań.

Na uwagę zasługuje uzyskanie patentu o numerze P429818. Patent potwierdza innowacyjność nowo opracowanej metody spajania materiału, której celem jest podwyższenie wytrzymałości na rozciąganie otrzymanych złączy spawanych.

Nowo opracowana metoda umożliwiła wykonanie prototypu konstrukcji spawanej podestu ruchomego i nadaje się do wykonania tego typu konstrukcji spawanych. Zastosowane parametry spawania i modyfikacje (długość podkładki) umożliwiają włączenie nowo opracowanej metody spawalniczej do cyklu produkcyjnego wytwarzania podestów ruchomych ze stali DOCOL 1200M. Prototyp słupowysięgnika udokumentowano na Rys. 58. Rozdział zawiera wybrane elementy dokumentacji wdrożeniowej takiej jak: Uznanie Technologii Spawania WPQR wg EN ISO 15613 czy Wstępną Instrukcję Technologii Spawania pWPS wg EN ISO 15613.

*Rozdział dziewiąty* podsumowuje całość pracy i podaje ilościowe wnioski wypracowane w ramach prowadzonych badań. Autor prezentując wnioski końcowe skupia się na udowodnieniu tezy pracy. Rozdział jest nieco rozbudowany i powtarza fragmenty już opisywane w pracy jak np. teza, cel i zakres badań. Same wnioski wypunktowano w 11 akapitach zawierających syntezę pracy. Z lektury wniosków można się szybko zorientować, że uzyskane wyniki badań przyniosły oczekiwane rezultaty i pozwalają na udowodnienie tezy zawartej w szóstym rozdziale. Bezpośrednio po wnioskach jest Załącznik nr 1.

Pracę kończy spis *Literatury, Tablic, i Rysunków*. W przeglądzie literatury Autor odniósł się do 113 pozycji literatury w większości z ostatnich lat. Pozycje literatury zawierają artykuły, książki, normy oraz źródła internetowe. Dobór literatury jest poprawny i nie budzi moich zastrzeżeń. Prezentowane w tej części pracy spisy tablic i rysunków pozwalają na lepsze zorientowanie się w strukturze pracy.

#### **Uwagi redakcyjne**

- *Str. 5; 13 linijka jest „Wrasta”* powinno być „Wzrasta”
- *Str. 6 pierwsze dwa akapity.* Formułowanie celu pracy przed sprawdzeniem stanu zagadnienia i wyciągnięciu wniosków z przeglądu literatury jest niefortunne.
- *Str. 36 jest „DOCOL M produkowana jest w zakresy”* powinno być DOCOL M produkowana jest w zakresie”
- *Str. 39 pierwszy akapit rozdziału 2.7. jest „... z chłodzeniem mikro strumieniowym [62].* Powinno być „... z chłodzeniem mikro strumieniowym [61].

- *Str. 61 jest „Najlepszą wytrzymałość spoiny uzyskano przy ciśnieniu 0,5 MPa.”* Powinno być „Najlepszą wytrzymałość spoiny uzyskano przy ciśnieniu 0,6 MPa.”
- *Str. 62 podpunkt 2.* Badania w tym podpunkcie dotyczą raczej testowego złącza spawanego niż całego podestu ruchomego. Ostatnie badanie tj. sprawdzenie strzałki ugięcia konstrukcji należałoby przenieść, jako badanie po wykonaniu elementu rzeczywistego.
- *Str. 78; 15 linijka drugi akapit jest „śladzania”* powinno być „schładzania”
- *Rys. 16 i Rys. 40* wydają się być takie same.
- *Brak odniesienia w tekście do Załącznika nr 1.* Do Załącznika nr 1 można było się odnieść w ostatnim akapicie rozdziału 7 oraz spisie literatury.

### **Uwagi krytyczne**

- W pracy w badaniach rozpoznawczych wykonano próbki do badań doraźnej wytrzymałości na rozciąganie wg normy PN EN ISO 4136, ale nie pokazano jak one wyglądały przed i po badaniu. Interesujące byłyby również wykresy naprężenie – odkształcenie z przeprowadzonej próby.
- W pracy dla badań zasadniczych nie podano jak wyglądały testowe złącza spawane i jak pobierano próbki do badań niszczących.
- W rozdziale 5.1. dobierano parametry do spawania próbek ze stali DOCOL, a nie elementów podestu ruchomego, który analizowano dopiero w badaniach zasadniczych

### **Uwagi dyskusyjne**

- Czy analizowano zmiany właściwości spoiny na całej 9 metrowej długości spawanego elementu?
- Czy wyniki badań zmęczeniowych dla złącza ze stali DOCOL 1200M po spawaniu MAG z zastosowaniem podkładki miedzianej i chłodzenia mikro-jetowego są lepsze od standardowych złączy stosowanych na podesty?

## Ocena merytoryczna rozprawy

Rzetelny przegląd literatury był podstawą zdefiniowania celu i zakresu pracy. Przedstawione przez Doktoranta dane literaturowe dotyczą bezpośrednio problematyki rozważanej w pracy, umożliwiając ocenę aspektów poznawczych i naukowych pracy. Cytowane prace są aktualne i dobrze dobrane, w dużej części są to publikacje z renomowanych czasopism. Wśród cytowanych publikacji są prace, w których doktorant jest jednym ze współautorów.

Rozprawa doktorska w dużej mierze skupia się na minimalizowaniu negatywnych zjawisk towarzyszących procesom spawalniczym, takich jak zmiany właściwości mechanicznych zachodzące podczas zmian temperatury.

Praca jest napisana wyczerpująco przedstawia zagadnienie badawcze zarówno od strony sformułowanych treści jak i formy rozprawy. Struktura rozprawy jest prawidłowa. W rozprawie nie ustrzeżono się drobnych błędów edytorskich niewpływających na czytelność i przejrzystość pracy. Rozprawa w wielu fragmentach przybrała formę raportu z badań, co nie jest korzystne. Wymienione wątpliwości nie obniżają jednak w pełni pozytywnej oceny pracy, a jedynie mogą być pomocne przy publikowaniu wyników pracy i dalszych badaniach.

Za najmocniejszą stronę pracy uważam jej aplikacyjny charakter. Modyfikacja procesu spawania wysokowytrzymałej stali z grupy AHSS poprzez zastosowanie chłodzenia mikro-jetowego i podkładki miedzianej okazała się procesem który pozwolił na umożliwienie wydłużenia zasięgu operacyjnego podestu o 20%, bez podwyższania masy całkowitej konstrukcji i przy zachowaniu wymagań bezpieczeństwa. Rozwinięcie tej idei może w przyszłości pozwolić na jej wykorzystanie w innych aplikacjach.

Procedury badawcze użyte w pracy są w większości standardowe lub znormalizowane i przyjęte w pracy zgodnie z ich przeznaczeniem.

Za najbardziej istotny wniosek z pracy uważam stwierdzenie, że istnieje możliwość wydłużenia cienkościennej długości ramion konstrukcji podestu ruchomego 20 % dzięki zastosowaniu stali DOCOL 1200M w procesie spawania chłodzenia mikro-jetowego wraz z podkładką miedzianą.

**Postawiony cel pracy uważam za osiągnięty, założony zakres pracy za zrealizowany a teza pracy za w pełni udowodnioną i udokumentowaną.**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Adama Jurka zawiera samodzielne opracowanie zagadnienia naukowego. Autor wykazał się należyłą wiedzę oraz umiejętności prowadzenia badań naukowych i przedstawiania wyników. Na podkreślenie zasługuje fakt, że praca została zrealizowana przy dużym nakładzie pracy i środków związanych z wykonaniem badań. Wykonanie badań wymagało od Doktoranta znajomości teorii i technologii spawalniczych. Uzyskane wyniki mają wartość poznawczą i naukową, należy je uznać za wartościowe i w dużym stopniu jako oryginalne osiągnięcia Autora rozprawy.

## **Wniosek końcowy**

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Adama Jurka pt. „**Zwiększenie zasięgu operacyjnego podestu ruchomego pojazdów samochodowych przy zachowaniu masy własnej pojazdu,**” stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport.

Autor osiągnął założony cel wykazując się znajomością zagadnień z zakresu inżynierii lądowej i transportu, oraz nowoczesnej metodyki i technik badawczych. Zaprezentował oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. **Wnioski wynikające z rozprawy stanowią oryginalny wkład naukowy autora w rozwój Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport.**

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Adama Jurka w pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i wnioskuje o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

.....  
Prof. dr hab. inż. Piotr LACKI  
Politechnika Częstochowska  
Częstochowa, 23.11.2021