

Prof. dr hab. inż. Tomasz Węgrzyn
Katedra Transportu 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. Jakuba Kozłowskiego
nt.

„Analiza parametrów próby spawalności stali konstrukcyjnych o grubości poniżej 30 mm w oparciu o wytyczne SEP 1390”

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja opracowana została na podstawie prośby Pana Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna, dr hab. inż. Janusza Szmidla, Prof. PCz, zawartej w piśmie R-WIMIL-510-5/18 z dnia 30 V 2022

2. Uwagi wstępne

Procesy spawania stali niestopowych należą do jednych z podstawowych procesów do wytwarzania konstrukcji. Jakość wykonanych złączy spawanych ma wpływ na trwałość eksploatacyjną konstrukcji i bezpieczeństwo. Znane są liczne awarie konstrukcji spowodowane nieprawidłowo prowadzonymi procesami wytwarzania.

Dla uzyskania prawidłowej i bezpiecznej konstrukcji spawanej należy właściwie dobrać materiały, proces spawania i ustalić wszystkie parametry uwzględniające energię liniową, sposób ukosowania blach, dobór materiałów dodatkowych (gazy osłonowe, druty elektrodowe, itd). Należy także zwrócić uwagę na kwalifikacje personelu wykonującego bezpośrednio prace spawalnicze, a także na dobór i prowadzenie odpowiednich metod kontroli jakości.

Wszelkie próby zmierzające do modyfikacji ocen jakości procesów spawania są zasadne. Jednym z kierunków prowadzonych w tym zakresie badań jest rozszerzanie możliwości stosowania różnego rodzaju testów i prób. Przykładem takiej modyfikacji metod kontroli jakości jest stosowanie coraz cieńszych wymiarów próbek do badań udarności.

Zaproponowana przez Doktoranta modyfikacja oceny spawalności w próbie SEP 1390 jest w pełni zrozumiała i uzasadniona. Opracowana metoda kontroli jakości

wstępnie była przewidziana dla oceny spawalności materiału o grubości powyżej 30 mm. Doktorant udowodnił możliwość i potrzebę jej zastosowania dla blach cieńszych z przedziału 20-30 mm, co jest osiągnięciem naukowym rozprawy doktorskiej.

Dużą rolę w prawidłowej interpretacji wyników odgrywa przeprowadzenie analizy występowania pęknięć i ich propagacji, co stanowi podstawę w ocenie spawalności w tej próbie technologicznej. Tematykę rozprawy uważam za bardzo aktualną, stanowiącą ważny krok na drodze usprawnienia bezpieczeństwa konstrukcji stalowych.

3. Charakterystyka i ocena rozprawy

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Jakub Kozłowski podjął próbę oceny spawalności stali niestopowej S355J2+N stosując metodę SEP 1390 w zmodyfikowanym zakresie grubości od 20 do 30 mm. Praca ma charakter badawczo-doświadczalny, a jej zakres wynika z przyjętych do realizacji zadań. Zakres pracy obejmował przeprowadzenie analizy parametrów stosowanych aktualnie w próbie SEP 1390 dla materiałów o grubości od 30 do 50 mm w celu zaproponowania warunków początkowych dla innego modelu wynikającego z celu pracy.

Rozprawa jest podzielona na 13 rozdziałów, całość liczy 134 strony, zawiera spis literatury obejmujący 97 pozycji. Analizowano aktualne normy oraz ważne publikacje naukowe krajowe i zagraniczne. Literaturę dobrano właściwie. Układ rozprawy jest prawidłowy, typowy dla tego rodzaju opracowań, tzn. składa się z przeglądu literatury, przeprowadzenia badań rozpoznawczych prowadzących do sformułowania tezy rozprawy, celu i wykonaniu badań zasadniczych prowadzących do udowodnienia tezy, dokładnego opisu przeprowadzonych badań, opracowania ich wyników, precyzyjnego podsumowania wraz z wnioskami. W rozprawie można zauważyć racjonalne zaplanowanie eksperymentu, jak również staranne i dokładne opracowanie uzyskanych wyników badań rzeczywistych.

W rozdziale 1. pt. „Wstęp” zawarto wprowadzenie dotyczące spawalności, prób spawalności, kontroli jakości stali niestopowych. Podano najważniejsze informacje na temat próby spawalności SEP 1390, którą opracowano dla materiałów o grubości powyżej 30 mm. Doktorant wskazał lukę badawczą, którą jest sprawdzenie możliwości zastosowania próby SEP 1390 dla materiałów o grubości z przedziału 20 – 30 mm.

W rozdziale 2. pt. „Charakterystyka stali konstrukcyjnych” Autor dokonał dokładnego przeglądu opracowań literaturowych na temat wpływu najważniejszych pierwiastków stopowych na właściwości stali niestopowych oraz na ich spawalność. Doktorant przedstawił aktualny podział stali konstrukcyjnych wg normy PN-EN-10020, a następnie scharakteryzował najważniejsze właściwości stali niestopowych, które są przedmiotem rozprawy.

W rozdziale 3. pt. „Kwalifikowanie technologii spawania” Autor zaprezentował metody kontroli jakości stosowane w spawalnictwie. Powiązał wybór metod oceny spawalności w zależności od rodzaju materiału, jego grubości, charakteru pracy konstrukcji. Wskazał jaką rolę odgrywają różne badania nieniszczące i niszczące w ocenie materiałów i złączy spawanych.

W rozdziale 4. pt. „Spawalność stali konstrukcyjnych” Autor opisał zjawiska fizyczne towarzyszące kształtowaniu spoin, w tym dokładnie przedstawił możliwości powstawania różnych pęknięć spawalniczych. Doktorant przedstawił czynniki metalurgiczne, technologiczne i konstrukcyjne wpływające na spawalność materiałów. Przedstawiono klasyfikację spawalności oraz metody ich oceny. Dokładnie powiązано spawalność z odpornością na różnego rodzaju pęknięcia. Przedstawiono najważniejsze próby pozwalające na określenie własności plastycznych materiału, takie jak próba udarności Charpy V, COD i wiele innych (rzadziej stosowanych). Szczegółowo scharakteryzowano próbę Kommerella, która jest pierwowzorem do opracowania próby SEP 1390.

W rozdziale 5 pt. „Badanie spawalności według próby SEP 1390” zestawiono i analizowano możliwości zastosowania tej próby dla materiałów o grubości od 30 mm. Dokładnie opisano realizację przebiegu próby SEP 1390, której sprawdzenie i propozycja rozszerzenia jej zastosowania stanowiła cel naukowy rozprawy.

W rozdziale 6. pt. „Podsumowanie przeglądu literatury” Autor wskazał na dużą ilość prób technologicznych służących do oceny spawalności materiałów. Wykazał jaka może być spójność i rozbieżność w interpretacji wyników w zastosowaniu różnych metod oceny spawalności. Wskazał na potrzebę rozszerzenia stosowania pewnych prób oceny spawalności.

W rozdziale 7. pt. „Cel, teza i zakres pracy” Autor przedstawił jako cel rozprawy doktorskiej przeprowadzenie analizy parametrów próby technologicznej SEP 1390 do oceny spawalności stali niestopowych o grubości z przedziału 20-30 mm. Jako tezę pracy przedstawiono, że „właściwy dobór parametrów próby technologicznej do oceny spawalności według wytycznych SEP 1390 umożliwi prawidłowe przeprowadzenie oceny spawalności materiałów w zakresie grubości od 20 do 30 mm”.

W rozdziale tym autor zaproponował badania służące do udowodnienia tezy. W tym celu starannie i z wykorzystaniem nowoczesnych technik wykonano badania oceny spawalności materiałów spawanych o grubości 20 mm, 25mm, 30 mm. Spawalność oceniano na podstawie występowania pęknięć zainicjowanych w napoinie i ich propagacji w głąb materiału rodzimego. Jednym z kryteriów oceny jest powiązanie kąta gięcia z powstawaniem pęknięć. Wybór tego obszaru badawczego jest bardzo uzasadniony, gdyż

pozwała to na poszerzenie wiedzy na temat spawalności stali niestopowych. Prawdłowo zaplanowano parametry eksperymentu i w sposób przejrzysty przedstawiono rezultaty badań. Uzyskano dużą ilość wyników badań, które w następných rozdziałach zostały poddane szczegółowej analizie.

W rozdziale 8. pt. „Metodyka badań” scharakteryzowano właściwości niestopowej stali S355J2+N, którą wytypowano do badań. Opisano dokładnie stanowisko badawcze i sposób realizacji badań i oceny ich wyników. Przyjęto wykonanie napoiny metodą MMA, którą wykorzystuje się w klasycznej próbie SEP 1390. Do oceny spawalności w próbie SEP prawidłowo wytypowano rutyłową elektrodę grubo-otuloną. Na uwagę zasługuje przygotowanie specjalistycznego oprzyrządowania oraz wykonania wszystkich próbek do badań z zachowaniem prawidłowych parametrów wymaganych w próbie SEP.

W rozdziale 9. pt. „Analiza parametrów próby SEP 1390:1996” przedstawiono relacje jakie występują pomiędzy średnicą trzpienia, rozstawem podpór i grubością badanego materiału”. Na podstawie tej analizy wytypowano najważniejsze parametry badania spawalności stali S355J2+N dla nowego, zmodyfikowanego zakresu grubości.

W rozdziale 10. Pt. „Wyniki badań” przedstawiono rezultaty oceny spawalności stali S355J2+N o różnej grubości (z przedziału 20 – 30 mm) na podstawie próby SEP 1390.

Zaproponowano dobór odpowiedniej średnicy trzpienia w celu wywołania większych naprężeń w próbie zginania dla lepszego ustabilizowania przebiegu próby blach o grubości 30 mm. Pozwoliło to nadanie odpowiedniego kierunku badań dla prób w zakresie mniejszej grubości. Według nowych wytycznych opracowanych dla grubości 30 mm, przeprowadzono badania spawalności materiału o grubości 20 mm i 25 mm, które pozwoliły na ustalenie wymaganych parametrów, tj.: średnicy trzpienia gnącego oraz rozstawu podpór w rozszerzonym zakresie.

W rozdziale 11. pt. „Analiza wyników badań” podsumowano wyniki badań spawalności wszystkich próbek z zakresu grubości 20 – 30 mm. Na podstawie badań uzyskano informacje o optymalnych wymiarach średnicy trzpienia i rozstawu podpór dla oceny spawalności blach o różnej grubości. Uzyskano wyniki, które potwierdzają przyjętą tezę pracy. Na podstawie uzyskanych wyników Autor stwierdza, że możliwe jest rozszerzone zastosowanie próby SEP 1390 do oceny spawalności niestopowych blach stalowych dla grubości z przedziału 20 – 30 mm. Podjęto także próbę oceny wpływu kierunku walcowania blach na ocenę spawalności materiału. Uzyskano wyniki, które wskazują jednoznacznie na szereg niewiadomych występujących w procesie metalurgicznym wytwarzania blach, które mają wpływ na rozpatrywane zagadnienie spawalnicze.

W rozdziale 12. pt. „Wnioski” Doktorant przedstawił szczegółowo propozycję zastosowania parametrów próby SEP 1390 do oceny spawalności blach o mniejszych grubościach niż dotychczasowo stosowanych.

W rozdziale 13. pt. „Kierunki dalszych badań” Autor proponuje sprawdzenie możliwości stosowania próby SEP 1390 dla materiałów o mniejszej grubości niż 20 mm oraz o wyższej wytrzymałości niż zalecanych obecnie.

4. Najważniejsze uwagi ogólne i szczegółowe

Całkowita koncepcja badań doświadczalnych została sformułowana przez Doktoranta starannie i poprawnie, a jej realizację oceniam pozytywnie. Eksperymentalna część rozprawy jest obszerna, przejrzysta i zawiera szereg wartościowych wyników i informacji. Doceniam zwłaszcza trafnie przyjęty zakres metod badawczych oraz dużą ilość przeprowadzonych badań. Forma prezentowania wyników, rzeczowy sposób ich analizy oraz przedstawione wnioski świadczą o dojrzałości badawczej Doktoranta. Szata graficzna rozprawy jest bardzo profesjonalnie dopracowana. W trakcie analizy rozprawy nasunęły mi się dwie uwagi o charakterze ogólnym i cztery uwagi szczegółowe nie mające wpływu na ocenę merytoryczną rozprawy.

Do uwag ogólnych zaliczam:

1. W pracy nie przedstawiono badań mikrostruktury napoiny ani przed zginaniem, ani po zginaniu. Sądzę, że rozszerzenie badań o badania strukturalne stanowiłyby uzupełnienie informacji o możliwości zastosowania próby SEP 1390.
2. Autor nie uzasadnia dlaczego zastosował tylko jeden proces spawalniczy? Może inne procesy pozwoliłyby na uzyskanie rozbieżnych rezultatów?

Do uwag szczegółowych zaliczam:

1. Na rysunku 2 nie podano miejsca przekroju próbki,
2. Drobne błędy edycyjne, wartości R_m , A_5 podaje się z indeksem dolnym (przykładowo tablica VII),
3. Dlaczego odstęp pomiędzy podporami nie jest zaznaczony od średnic wałków?
4. W cytowanej pozycji literaturowej [34] jest błąd w nazwisku znanego profesora spawalnika

5. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Kozłowskiego „Analiza parametrów próby spawalności stali konstrukcyjnych o grubości poniżej 30 mm w oparciu o wytyczne SEP 1390” jest ważną pracą naukowo-badawczą o aktualnej tematyce. Praca doktorska wyraźnie reprezentuje dyscyplinę „Inżynieria Mechaniczna” wg nowej klasyfikacji.

Niepodważalnym walorem pracy jest opracowanie rozszerzonego rozwiązania dotyczącego możliwości oceny spawalności materiałów próbą SEP 1390. Podjęty w pracy temat jest ważny i wnosi wkład w rozwój konstrukcji stalowych i dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna”. Doktorant postawił tezę, dla udowodnienia której wykonał liczne badania rzeczywiste i poszerzył obszar zastosowania próby SEP w ocenie spawalności. Postawiona teza została przejrzysto i poprawnie udowodniona. Doktorant wykazał się umiejętnością dobrego planowania i wykonywania badań oraz analizy merytorycznej uzyskanych wyników. Pomimo wymienionych drobnych uwag ogólnych i szczegółowych, nie wpływających na wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Autor osiągnął cele postawione w pracy, dochodząc do wyników mających znaczenie nie tylko poznawcze, ale również użyteczne. Całość recenzowanej rozprawy w pełni potwierdza wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z dnia 14 III 2003 (Dz. U. 2017 r., poz. 1789, z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.



Katowice, 07 VI 2022 r