

**OCENA**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Fabiana Żoka**  
**pt. „Trwałość połączeń spawanych wykonanych ze stali**  
**o podwyższonej wytrzymałości – S690QL do S1100QL”**

**Podstawa opracowania:** umowa z dnia 15.07.2022 z Politechniką Opolską z siedzibą w Opolu, 45-758 Opole ul. Prószkowska 76, reprezentowaną przez dr hab. inż. Marcina Lorenca, prof. PO, JM Rektora Politechniki Opolskiej dotycząca opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Fabiana Żoka.

## **1. Wprowadzenie**

Projektowanie i wykonywanie połączeń elementów należy do kluczowych etapów procesów wytwórczych i stanowią podstawę w produkcji złożonych konstrukcji o wysokiej wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej. Jedną z istotnych metod nierozłącznego spajania elementów jest spawanie, które od wielu lat stosuje się przy wytwarzaniu złożonych obiektów technicznych w obszarze inżynierii mechanicznej ale również maszyn roboczych i konstrukcji budowlanych. Połączenia spawane w dalszym ciągu mają duży potencjał rozwojowy w zakresie nowych aplikacji, w których badania realizowane są pod kątem automatyzacji i robotyzacji samego procesu oraz stosowania nowoczesnych materiałów, które pozwalają na wytwarzanie wyrobów o wysokiej wytrzymałości. Istotne jest również prowadzenie badań i analiz w obrębie samej spoiny pozwalających na uzyskanie wysokowytrzymałych zmęczeniowo połączeń o zwiększonej trwałości eksploatacyjnej.

Tendencje rozwoju procesów spawania ukierunkowane są na łączenie ze sobą coraz to szerszej gamy materiałów w tym stali konstrukcyjnych o wysokiej wytrzymałości. Biorąc to pod uwagę, istotne jest rozszerzenie

możliwości technologicznych spawania tego typu materiałów, co niesie za sobą potrzebę badań i analiz wytrzymałości spoin w określonych warunkach. Z tego względu tematykę pracy należy uznać za aktualną i potrzebną a wyniki badań mogą stanowić potencjał aplikacyjny dla różnych gałęzi przemysłu, w tym do wytwarzania elementów nośnych maszyn roboczych stosowanych w procesie realizacji konstrukcji budowlanych czy samej infrastruktury budowlanej.

## **2. Struktura pracy doktorskiej**

Dysertacja wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości – S690QL do S1100QL” przedstawia w sposób teoretyczny i doświadczalny zagadnienia dotyczące wykonywania połączeń spawanych konstrukcji ze stali wysokowytrzymałych z dość obszernym wprowadzeniem dotyczącym ogólnych zagadnień związanych z procesem spawania, które w znacznej części stanowią materiał o charakterze podręcznikowym i z tego względu mogłyby w pracy być opisane w węższym zakresie.

Rozprawa składa się ze 118 stron i jest podzielona na 11 rozdziałów zawierających wprowadzenie i literaturę oraz streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych oznaczeń. Bibliografia obejmuje 102 pozycje umieszczone w kolejności powołań, pochodzące ze źródeł krajowych i zagranicznych w tym normy, źródła internetowe oraz opracowania branżowe. Można uznać, że zachowane zostały właściwe proporcje pomiędzy aktualnymi opracowaniami o charakterze artykułów naukowych a także pozycjami książkowymi i normami odnoszącymi się do zagadnień przedstawionych w dysertacji.

Rozdział pierwszy rozpoczyna pracę jako wprowadzenie, który może stanowić część analizy stanu zagadnienia, kontynuowaną w rozdziale drugim i trzecim, można tu się zastanowić czy połączenie trzech pierwszych rozdziałów pod wspólnym tytułem np. analiza stanu zagadnienia nie byłoby bardziej trafne. Przedstawiony w tych rozdziałach materiał zawiera znaczą ilość wiedzy teoretycznej i jest bardzo obszerny, może nawet za bardzo jak na potrzeby rozprawy doktorskiej o charakterze doświadczalnym. Ogólnie można z treści tych rozdziałów wnioskować, że stanowią pewnego rodzaju analizę stanu zagadnienia. Jest to oczywiście kwestia dyskusyjna i odnosi się do usystematyzowania zawartości pracy nie do wartości merytorycznej.

Zawarty w początkowych rozdziałach materiał opracowany na podstawie literatury był podstawą do sformułowania badawczego celu określonego jako badanie trwałości połączeń spawanych wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości – S690QL do S1100QL, co wynika z

tytułu samej treści rozprawy, a w samym rozdziale czwartym zatytułowanym Cel i zakres pracy nie jest przedstawione zbyt czytelnie.

Rozdział piąty rozpoczyna część badawczą pracy począwszy od opisu materiałów konstrukcyjnych stosowanych do wykonania próbek przeznaczonych do testów wytrzymałościowych bazując na informacjach zawartych w normach oraz realizacji badań własnych.

Rozdział szósty dotyczy badań i analizy właściwości mechanicznych połączeń spawanych w skład których wchodzi badania wytrzymałościowe spoin w zakresie wytrzymałości na rozciąganie, udarność oraz próby zginania. Przedstawiono wyniki badań, opracowane graficznie w sposób trudny do analizy ze względu mało czytelny opis wykresów. Sam tekst ma w wielu przypadkach dość enigmatyczny charakter, dla przykładu na str. 73 widnieje zdanie: „Wyniki próby udarność wypadły lepiej niż próby rozciągania” lub na str. 74 widnieje zdanie: „Zbyt mało wyników uzyskano dla dokładnego przedstawienia prawdopodobieństwa uzyskania pozytywnego wyniku”, trudno tu wnioskować co Autor miał na myśli, a określenia tego typu nie powinny być stosowane w naukowych tekstach o charakterze badawczym, w których istotna jest precyzja zapisu. Rozdział ten kończy się wykresem (rys. 39), bez podjęcia próby podsumowania wyników badań tu przedstawionych co było by cenne z punktu widzenia naukowego i użytecznego.

W rozdziale siódmym przedstawione są wyniki badań zmęczeniowych dedykowanych próbek z zastosowaniem specjalistycznego stanowiska testowego. Wyniki badań przedstawiono tabelarycznie oraz w postaci wykresów charakterystyk zmęczeniowych. Rozdział kończy się ilustracjami wybranych pęknięć próbek badawczych przedstawionymi na zdjęciach przekrojów. Podobnie jak w poprzednim rozdziale nie występuje tu wyczerpujące omówienie wyników badań oraz brak jest sformułowania wniosków. Opracowanie i przedstawienie analizy wyników badań jest jednym z istotnych etapów realizacji prac badawczych i mimo wykonanej przez Doktoranta dużej liczby prób i badań, pozostaje w pracy pewien niedosyt związany z ich analizą.

Rozdział ósmy dotyczy badania naprężeń własnych, gdzie Autor podaje na początku pewne informacje teoretyczne i opisuje sposób przygotowania próbek do badań, proces badawczy a także wyniki badań w postaci wykresów.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono próbę analizy wpływu spawania na wytrzymałość otrzymanych połączeń spawanych i właściwie z rozdziałem dziesiątym mógłby stanowić jeden rozdział podsumowujący dysertację. Wyniki badań są omawiane dość syntetycznie a forma ich przedstawienia często w układzie analiz statystycznych, co nie zawsze

ułatwia prawidłową interpretację, być może powodem tego jest to, że praca oparta jest na dużej ilości materiału badawczego.

### **3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Przedstawiona w pracy pt. „Trwałość połączeń spawanych wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości – S690QL do S1100QL” problematyka badawcza dotyczy istotnych i aktualnych zagadnień nie tylko z punktu widzenia naukowego ale również aplikacyjnego.

Materiał badawczy zawarty w pracy w znacznej mierze oparty jest na badaniach i został poprzedzony dość obszernym wstępem odnoszącym się do zagadnień ogólnych związanych z połączeniami spawanymi.

W części teoretycznej opisano procesy spawalnicze w odniesieniu do planowanych badań. Część ta zawiera obszerny materiał, który może w stanowić analizę stanu zagadnienia, ale w tej części zawarta jest wiedza charakterze ogólnym, czy nawet podręcznikowym, jej część może być zbędna z punktu widzenia materiału badawczego przedstawionego w dysertacji. Materiał teoretyczny posłużył do określenia celu i zakresu pracy, który w rozdziale czwartym opisany jest w dość powierzchowny sposób, właściwie czytelnik musi się domyślać o co chodzi rzeczywiście Autorowi. Rozdział ten jest tak skromny, że nie odzwierciedla dużej ilości przedstawionych w kolejnych rozdziałach badań. Zawarty jest tu też szereg nieprecyzyjnych stwierdzeń np. najwyższy czy najniższy gatunek stali lub pozytywny wynik. W pracach o charakterze badawczym i naukowym należy się posługiwać odpowiednimi parametrami opisującymi dany materiał a nie stwierdzeniami ogólnymi, które można i należy stosować dla formułowania wniosków. Tego typu ogólne określenia można również spotkać w innych miejscach pracy np. rozdział piąty str. 59, 70, 73. Taki sposób podejścia do formułowania zapisów jest bardzo często spotykany u autorów, którzy pracują w przemyśle i mają okazjonalne kontakty z pracą naukową. Jest to często wynikiem dużej wiedzy praktycznej, co uzewnętrznia się w tekstach pisanych z zastosowaniem skrótów myślowych. Pewna część pracy została wykonana w ramach projektu RPOP 01.01.00-16-0031/16-00 współfinansowanego z Działania 1.1 Innowacje w przedsiębiorstwach w ramach RPO Województwa Opolskiego w latach 2014 – 2020, co stanowi istotną wartość aplikacyjną materiału badawczego przedstawionego w dysertacji. Należy jednak pamiętać, że znaczna wiedza praktyczna nie zwalnia z obowiązku przedstawienia wyników badań i analiz w formie ogólnie przyjętej dla opracowań o charakterze naukowym.

Układ rozdziałów w pracy jest odpowiedni do zawartości merytorycznej, numeracja rysunków i tabel nie odnosi się do numeracji rozdziałów, lecz do chronologii ich zamieszczenia w tekście, co jest poprawne. W dysertacji występują błędy stylistyczne i interpunkcyjne np. kropki na końcu tytułów niektórych podrozdziałów (str. 24, 77, 78, 97) czy brak szczegółowych opisów rysunków np. rysunek 30, 48, 49, 58, gdzie np. brak jest opisu zdjęcia a i b. Literatura zawiera pewne niedociągnięcia o charakterze edycyjnym, brak jest również w kilku przypadkach informacji pozwalających poprawnie zweryfikować źródło pochodzenia danej pozycji (np. poz. 16, 30, 37, 44, 78, 80, 91).

Praca zawiera dość obszerny materiał z przeprowadzonych badań począwszy od badań właściwości mechanicznych materiałów podstawowych, właściwości mechanicznych złączy spawanych, w tym badań nieniszczących i niszczących, badań zmęczeniowych z wykorzystaniem specjalnego stanowiska oraz badań naprężeń własnych. W wyniku przeprowadzonej analizy wyników badań Autor sformułował wnioski o charakterze ogólnym i szczegółowym zawarte w końcowej części pracy. Stwierdza tu, że właściwości połączeń spawanych wykonanych ze stali S1100QL były podobne dla tzw. „niskich” i „wysokich” parametrów spawania bez podgrzewania wstępnego. Termin „niskie” i „wysokie” parametry spawania pojawia w kilku miejscach pracy (np. str. 78), jednak brak jest szczegółowego opisu tego terminu w odniesieniu do przedstawionych badań, co znacznie poprawiłoby czytelność opracowania szczególnie w odniesieniu do rozdziału dziewiątego i zawartych w nim tabel nr 15 i 16.

We wnioskach zawarte jest stwierdzenie, że uwzględniono wpływ deformacji na rozkład naprężeń w spoinie obciążonej na stanowisku pomiarowym, sformułowanie to jest dość ogólne i powinno być przez Autora uszczegółowione w kontekście głównego celu dysertacji.

Autor we wnioskach w kilku punktach powołuje się na parametry spawania i próbuje określić ich wpływ na właściwości spoiny, jednak trudno tu odnaleźć rzeczywiste relacje ponieważ brak jest skonkretyzowania tych tzw. parametrów i odniesienia do głównego celu pracy związanego z analizą trwałości połączeń spawanych ze stali S690QL – S1100QL.

Metodyka badań, opracowane modele badawcze na podstawie analizy wyników badań oraz wnioski stanowią w znacznej części oryginalny wkład Autora w dyscyplinę naukową Inżynieria mechaniczna. Stwierdzam jednocześnie, że poziom merytoryczny rozprawy jest poprawny, Doktorant zrealizował wiele testów próbek badawczych, których jednak opracowanie pozostawia pewien niedosyt w zakresie ich analizy.

#### 4. Podsumowanie

Analizując przedstawioną do oceny rozprawę doktorską stwierdzam, że:

- rozprawa dotyczy aktualnej wiedzy i praktyki objętej jej zakresem, a w niektórych miejscach wnosi nowe treści,
- tematyka pracy została wybrana w sposób właściwy, a jej zakres spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim,
- struktura i formalny układ pracy jest zasadniczo poprawny,
- cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Autora,
- założenia przyjęte w pracy, przeprowadzone badania i analizy mogą być przedmiotem kolejnych prac badawczych.

Praca doktorska przedstawia badania i analizy, które stanowią istotny element rozwoju badań nad wytrzymałością połączeń spawanych dla konstrukcyjnych stali wysokowytrzymałych, jednak nie wyczerpuje całości zagadnień z tym związanych, można powiedzieć że to pewien istotny etap testów połączeń konstrukcyjnych stosowanych w ciężkim przemyśle maszynowym i budowlanym.

Dysertacja świadczy, że Doktorant zdobył kompetencje w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej Inżynieria mechaniczna, w której mieści się tematyka zawarta w dysertacji.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Fabiana Żoka pt.: *„Trwałość połączeń spawanych wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości – S690QL do S1100QL”* (promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda, promotor pomocniczy dr inż. Mateusz Kowalski) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu przepisów ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. z późniejszymi zmianami z dnia 12 maja 2022 roku.

*Grzegorz Budnik*