

prof. dr hab. inż. Lucjan ŚNIEŻEK
ul. Lazurowa 185C m 122
01-476 Warszawa

Warszawa, dn. 10.09.2022 r.

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

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowiło pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Opolskiej, Pana prof. dr. hab. inż. Tadeusza Łagody, nr RNDIM/141/22 z dnia 8 lipca 2022 r.

1. Wstęp

Stale o podwyższonej wytrzymałości zostały opracowane w głównej mierze na potrzeby przemysłu wydobywczego, lecz dość szybko znalazły zastosowanie również w innych gałęziach przemysłu. W chwili obecnej są powszechnie wykorzystywane między innymi na konstrukcje spawane wysięgników żurawi samochodowych, zbiorniki ciśnieniowe, ramy samochodów ciężarowych, a w ostatnich latach również w budownictwie infrastrukturalnym. Jest to podyktowane głównie względami ekonomicznymi, mającymi na celu obniżenie kosztów produkcji. Należy jednak mieć na uwadze, że każdy „Łańcuch jest tak silny, jak jego najsłabsze ogniwo”. Ten idiom można odnieść również do spawanych konstrukcji stalowych. W praktyce z powyższego stwierdzenia wynika, że nośność konstrukcji spawanej wykonanej z nawet najbardziej wytrzymałych stali zależy od nośności połączenia spawanego. Zatem złącze spawane należy uważać za newralgiczny węzeł konstrukcji zwłaszcza w warunkach obciążeń zmiennych.

W świetle powyższego, podjęcie w recenzowanej pracy doktorskiej próby oceny wpływu parametrów spawania na właściwości wytrzymałościowe i trwałość zmęczeniową połączeń spawanych wybranych gatunków stali o podwyższonej wytrzymałości uważam za w pełni uzasadnione.

Tematyka podjęta w niniejszej pracy wynika przede wszystkim z niedostatecznej wiedzy na temat wpływu parametrów spawania na właściwości mechaniczne określane metodami badań statycznych oraz trwałość zmęczeniową wybranych gatunków stali o podwyższonej wytrzymałości. Jako reprezentatywne dla tej grupy wybrano stale S690QL, S890QL, S960QL

oraz S1100QL. Należy jednak podkreślić, że badania zmęczeniowe przeprowadzono jedynie w odniesieniu do stali S1100QL.

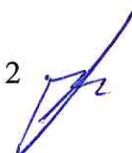
2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Fabiana Żoka składa się z 11 rozdziałów, w tym jako rozdział potraktowano również wykaz literatury liczący 102 prace, na które Autor powołał się w tekście. Należy podkreślić, że aż 41 z nich to normy i opracowania techniczne, a wśród powołań odnotować można m.in. publikację [2] z 1877 r. W wykazie przywołanych opracowań naukowych zamieszczono 35 prac opublikowanych w ciągu ostatnich dziesięciu lat. Nie sposób jednak nie zaznaczyć, że można było dokonać bardziej rzetelnej analizy literaturowej, ponieważ liczba prac poświęconych badaniom właściwości użytkowych drobnoziarnistych stali wysokowytrzymałych, zwłaszcza w ostatnim okresie, znacząco się zwiększyła, również tych opublikowanych przez krajowe środowisko naukowe.

Praca na 118 stronach jest odpowiednio ilustrowana rysunkami i fotografiami stanowisk badawczych wykorzystywanych podczas badań własnych. Łącznie w rozprawie zamieszczono 67 rysunków i 16 tabel.

We wprowadzeniu, stanowiącym rozdział pierwszy rozprawy, Doktorant w ujęciu elementarnym identyfikuje obszary zastosowań i wytrzymałości badanych stali wprowadzając zamiennie pojęcia stali wysokowytrzymałych, stali o podwyższonej wytrzymałości i stali drobnoziarnistych bez dodatkowego, zdaniem recenzenta, niezbędnego komentarza. Osobny punkt poświęcono analizie struktury badanych stali S690QL, S890QL i S1100QL w oparciu o zamieszczone fotografie wytrawionych zglądów próbek. Z nieznanых przyczyn nie przedstawiono fotografii struktury stali S960QL, którą również poddano badaniom wytrzymałościowym w dalszej części rozprawy. Precyzując wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na obserwowane struktury podkreślono również ich oddziaływanie na właściwości wytrzymałościowe badanych stali. Należy jednak zwrócić uwagę, że Doktorant w tej części rozprawy zamieścił m.in. definicje stali i martenzytu, które zdaniem recenzenta nie powinny się znaleźć w opracowaniu rangi rozprawy doktorskiej.

W rozdziale drugim poświęconym wymaganiom stawianym złączom spawanym, oprócz informacji związanych z techniką spawania łukowego, dość szeroko omówiono normatywne uregulowania dotyczące identyfikacji imperfekcji i właściwości mechanicznych połączeń spawanych. Ponadto w punkcie 2.1 tego rozdziału zatytułowanym „Charakterystyka stali konstrukcyjnych” zamieszczono w ujęciu retrospektywnym rozwój stali spawalnych ze



szczególным uwzględnieniem stali drobnoziarnistych. Wydaje się jednak, że punkt ten lepiej komponowałby się z tematyką opisaną w rozdziale pierwszym, poświęconym zagadnieniom materiałowym tychże stali. Ponadto w rozdziale tym, oprócz informacji istotnych z punktu widzenia technologii spawania i badań kwalifikacyjnych połączeń opracowanych na bazie zbioru norm PN EN ISO oraz badań zmęczeniowych zalecanych przez normy ASTM, DIN, ISO a także wytycznych zawartych w przepisach budowlanych i Eurocode, zawarto informacje mniej ważne, o charakterze technicznym. Dotyczy to opisu na dziewięciu stronach metod łukowego łączenia stali, w tym ręcznego spawania elektrodą otuloną i elektrodą w osłonie gazu aktywnego.

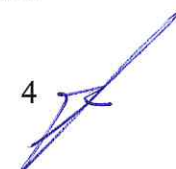
Rozdział trzeci w praktyce zawiera przegląd literatury dotyczącej wyników badań zjawisk zmęczeniowych towarzyszących cyklicznemu obciążaniu połączeń spawanych z odniesieniem do pierwotnych i wykorzystywanych powszechnie charakterystyk naprężeniowych i odkształceniowych. W punktach 3.3 i 3.4 tego rozdziału zamieszczono przegląd norm oraz publikacji dotyczących badanych stali wysokowytrzymałych i ich połączeń spawanych, a opis ten zamieszczono na dziewięciu stronach wykorzystując 18 pozycji literaturowych. Nie uwzględniono w tej liczbie szeregu aktualnych opracowań, które ukazały się w okresie ostatnich 10 lat, dotyczących badań połączeń spawanych stali wysokowytrzymałych, w tym kilku opublikowanych przez krajowych badaczy. W kolejnym punkcie 3.5 w sposób oszczędny, w oparciu o trzy pozycje literaturowe, poruszono problem naprężeń własnych w połączeniach spawanych rozpatrywanych gatunków stali. Rozdział zamyka punkt 3.6 zawierający podsumowanie przeglądu literatury, w którym Doktorant sformułował sześć wniosków leżących u podstaw nakreślonego obszaru badawczego oraz określonych w rozdziale czwartym celów i zakresu pracy. Z pewnością taki układ tekstu wpłynął pozytywnie na zachowanie ciągłości logicznej układu pracy. Wskazane obszary ograniczonej wiedzy dotyczą, w przekonaniu Doktoranta, między innymi: danych dotyczących właściwości połączeń spawanych stali S1100QL i S1300QL, charakterystyk zmęczeniowych połączeń spawanych stali wysokowytrzymałych w warunkach obciążeń innych niż rozciąganie i ściskanie, wytycznych normatywnych dotyczących badań stali o granicach plastyczności przekraczających 700 MPa oraz charakterystyk zmęczeniowych połączeń (w pracy „złączy”) wykonanych w technologii spawania MMA/111. Wskazano na brak opracowań pozwalających na jednoznaczne wyjaśnienie wymienionych kwestii. Konkluzja ta legła u podstaw sformułowania w rozdziale czwartym celów pracy obejmujących, w oryginalnym brzmieniu: „Sprawdzenie trwałości zmęczeniowej dla stali wysokowytrzymałych – o granicy plastyczności przekraczającej 690 MPa, wykonanych przy różnych parametrach spawania.



Porównać wpływ parametrów i metod spawania na trwałość zmęczeniową. Sprawdzić poziom naprężeń własnych wprowadzonych do materiału wskutek procesu spawania”. Osiągnięcie tak sformułowanych celów pracy postanowiono uzyskać poprzez realizację zakresu pracy przedstawionego w punkcie 4.2, zakładając wykonanie, poza standardowymi badaniami wytrzymałościowymi materiałów podstawowych: analizy spektralnej składu chemicznego i metalograficznej struktury elementów modelowych, kwalifikacyjnych badań nieniszczących złączy spawanych, badań wytrzymałościowych i zmęczeniowych materiału bazowego i wytworzonych połączeń spawanych oraz badań symulacyjnych i pomiarów naprężeń własnych w tychże połączeniach.

Rozdział piąty rozpoczyna zasadniczą część pracy, zawierającą wyniki przeprowadzonych badań teoretycznych i doświadczalnych. W rozdziale tym scharakteryzowano właściwości mechaniczne materiałów zastosowanych do wytworzenia próbek przeznaczonych do badań w warunkach obciążeń statycznych i zmiennych. Zilustrowano kształt i podano wymiary tych próbek. Wybrano cztery gatunki stali: S690QL, S890QL, S960QL oraz S1100QL. Według Doktoranta użyte materiały spełniały wymogi stawiane przez normę materiałową lub wytyczne producenta. Ich jakość w zakresie strukturalnym i wytrzymałościowym sprawdzono i potwierdzono podczas badań własnych w zakresach: obecności rozwarstwień wykorzystując metodę ultradźwiękową i wytrzymałościowym, wykonując serię badań wytrzymałościowych w warunkach osiowego rozciągania jedynie stali S1100QL.

Wyniki badań właściwości mechanicznych połączeń spawanych rozpatrywanych gatunków stali zamieszczono w rozdziale szóstym. W celu przeprowadzania badań wykonanych zostało łącznie 128 połączeń z gatunków stali S690QL, S890QL, S960QL oraz S1100QL. Przygotowano dwie grupy próbek: ze złączami doczołowymi i pachwinowymi, wykonanymi metodami 135 i 111 przy różnych energiach liniowych, częściowo z podgrzewaniem a częściowo bez podgrzewania. Podczas badań wykorzystano zalecenia zawarte w normach: PN EN ISO 15614-1, PN EN ISO 4136, PN EN ISO 148-1 i PN EN ISO 5173, obejmujące m.in.: przeprowadzenie ciągu badań zarówno nieniszczących (badania radiograficzne i ultradźwiękowe), jak i niszczących w postaci próby rozciągania poprzecznego na standardowych próbkach o przekroju prostokątnych, próby udarności na standardowych próbkach typu Charpy V oraz próby gięcia bocznego. Należy jednak podkreślić, że w pracy wspomniano o przeprowadzeniu próby gięcia bocznego, jednak nie zamieszczono wyników tych badań. Wyznaczone podczas badań wytrzymałościowych wartości wytrzymałości na rozciąganie oraz wartości udarności połączeń w dwóch



przypadkach: z karbem naciętym w osi spoiny i w strefie wpływu ciepła przedstawiono w postaci krzywych Gaussa, obrazujących funkcję gęstości rozkładu normalnego, a następnie poddano weryfikacji z odniesieniem do zapisów normatywnych. Doktorant interpretując uzyskane wyniki badań właściwości mechanicznych bierze pod uwagę, że w grupie wyników uwzględnionych podczas tworzenia krzywych Gaussa mogły wystąpić również wyniki dotyczące złączy z niezgodnościami wewnętrznymi, nie identyfikując takowych. Zakłada zarazem a priori, że obecność tych niezgodności miała mniejszy wpływ na wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie, a większy na wyniki badań udarności.

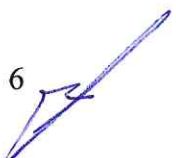
Wyniki badań zmęczeniowych zarówno materiału bazowego, jak i połączeń spawanych stali S1100QL wykonanych metodą 111/MMA zamieszczono w rozdziale siódmym. Na podkreślenie zasługuje fakt, że testy przeprowadzono zarówno przy obciążeniu cyklicznym stałoamplitudowym, jak i losowym. Podczas badań losowych zastosowano obciążenie, które zdefiniowano za pomocą rozkładu gęstości widmowej mocy oraz przebiegu losowego pojedynczego cyklu zmęczeniowego. Według Doktoranta zestaw ten „... odpowiada wielu potencjalnym zastosowaniom stali konstrukcyjnych”. Teza ta nie została jednak w pracy dowiedziona, ani nie przywołana za innym opracowaniem. Jako niedociągnięcie należy również potraktować niewystarczający opis przebiegu obciążeń zmiennych zastosowanego podczas badań stałoamplitudowych. O ile zamieszczono zależność opisującą generowane sinusoidalnie zmienne wymuszenie $F(t)$, o tyle nie podano wartości współczynnika asymetrii cyklu R . Pewne uwagi musi również budzić ograniczona czytelność wykresów opracowanych na podstawie wyników badań zmęczeniowych. Dotyczy to w szczególności opisów osi i uproszczonych zapisów legend. Ostatecznie Autor zdecydował się na opracowanie wykresu zbiorczego, ujmującego wyniki wszystkich badań, zarówno stałoamplitudowych, jak i losowych, jednak interpretacja tego dość bogatego zbioru danych zajęła zaledwie sześć wierszy. Z pewnością stanowi to przyczynek do dyskusji podczas obrony doktoratu. Wybrane próbki po przeprowadzonych badaniach zmęczeniowych poddano obserwacji z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego, co umożliwiło zlokalizowanie miejsc dekohezji badanych próbek. Autor pisze jednak o procesie propagacji pęknięcia, co byłoby możliwe, ale z uwzględnieniem wyników badań powierzchni przelomów zmęczeniowych, prowadzonych najczęściej z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej.

Zarejestrowane wyniki badań właściwości mechanicznych połączeń spawanych są nierozłącznie powiązane z obecnością, wartością i znakiem naprężeń własnych w obrębie i w bezpośrednim sąsiedztwie złączy spawanych. Nie mogło zatem zabraknąć w recenzowanej pracy rozstrzygnięcia i tej kwestii. W celu wyznaczenia stanu naprężeń



własnych w strefie przypowierzchniowej łączonych elementów zdecydowano się na zastosowanie metody trepanacji otworowej. W przeciwieństwie do metody rentgenograficznej, metoda ta pozwala określić zmianę stanu naprężeń własnych w funkcji przyrostu głębokości oraz ocenić charakter tych zmian. Pomiarzy miały na celu nie tylko określenie ilościowe stanu naprężenia, ale również ich zmian w zależności od odległości od linii wtopu. Opis wyników tych pomiarów zamieszczono w rozdziale ósmym. Doktorant samodzielnie skompletował stanowisko badawcze i dokonał pomiarów naprężeń własnych, co świadczy o jego dobrym przygotowaniu do kompozycji stanowiska pomiarowego oraz realizacji żmudnych i złożonych pomiarów pośrednich wybranych wielkości fizycznych. Uzyskane wyniki pomiarów w postaci wyliczonych wartości naprężeń własnych głównych σ_1 i σ_2 zostały przedstawione w ujęciu tabelarycznym. W celu określenia wpływu obecności wyliczonych naprężeń własnych na deformację badanych połączeń spawanych wykonane zostały pomiary geometrii złącza i obszaru badanych próbek bezpośrednio do złącza przyległego. W dalszej części omawianego rozdziału Doktorant podjął próbę analizy wpływu naprężeń własnych na trwałość zmęczeniową złączy spawanych, tak też formułując tytuł punktu 8.4 pracy. To duże wyzwanie, ponieważ realizacji tak obszernego zadania z pewnością można byłoby poświęcić w całości osobną rozprawę doktorską. W praktyce Autor dokonał pomiarów geometrii złącza i deformacji wynikających z procesu spawania oraz wykorzystał wyniki tych pomiarów do identyfikacji za pomocą Metody Elementów Skończonych stanu naprężeń własnych w wytworzonych połączeniach. Merytoryczną ocenę uzyskanych w ten sposób wyników utrudnia niezwykle skromny opis zarówno modelu geometrycznego, jak i modelu dyskretnego (w tym zdefiniowania więzów i obciążeń). Nie zamieszczono również informacji jakie zastosowano oprogramowanie?. Uwagi może budzić także mało przejrzysta forma prezentacji wyników obliczeń. Takie same zastrzeżenia dotyczące opisu modeli i formy prezentacji oraz analizy wyników obliczeń można sformułować odnośnie symulacji procesu spawania opisanej w punkcie 8.4.2. Oczywiście, odnosząc się do miarodajności wyników przeprowadzonych badań symulacyjnych, należy mieć na uwadze szereg uproszczeń wprowadzonych do zastosowanych modeli, wynikających między innymi z braku wszystkich danych niezbędnych do jego zasilenia.

W rozdziale dziewiątym zamieszczono wyniki badań wpływu parametrów spawania na wytrzymałość otrzymanych złączy spawanych w oparciu o wyniki analizy statystycznej wyznaczonych wartości wytrzymałości na rozciąganie przebadanych połączeń spawanych doczołowych wykonanych metodą 135 z blach o grubości 12 mm. Wyniki porównawcze zaprezentowano w postaci wykresu charakteryzującego wartości średnie wytrzymałości na



rozciąganie oraz tablicy zawierającej szczegółowe dane testów wraz z uwagami. Rozdział zamykają dwie hipotezy, które jak podkreślono w tekście, zostały sformułowane „...dla przeprowadzonych testów”. Zachodzi zatem pytanie, dlaczego właśnie w tym rozdziale zostały zamieszczone i dlaczego dotyczą jedynie wytrzymałości na rozciąganie, skoro cele pracy dotyczą wpływu parametrów spawania na trwałość zmęczeniową? Warto także zadać pytanie: w jakim stopniu hipotezy te zmierzają do udzielenia odpowiedzi na postawione w pracy pytania badawcze?

Opisane wcześniej wyniki badań zapewniły możliwość rozległego wnioskowania, które Doktorant zawarł w rozdziale dziesiątym, jednak zaznaczyć warto, że wskazanym byłoby zapisanie wniosków końcowych w formie numerowanej, a nie z wykorzystaniem punktów. Warto również dodać, że wśród licznej grypy szesnastu wniosków, trzy pierwsze odnoszą się do przeglądu literatury, a część z pozostałych, w opinii recenzenta, ma postać nadmiernie uogólnioną.

3. Ocena rozprawy

Całość pracy pod względem merytorycznym zasługuje na pozytywną ocenę mimo pewnych zastrzeżeń dotyczących w szczególności strony edytorskiej. Krytyczne uwagi dotyczące obszaru merytorycznego rozprawy wynikają przede wszystkim z konieczności uściślenia niektórych zagadnień, pominiętych lub przedstawionych zbyt ogólnie. Dyskusji oraz dodatkowych wyjaśnień i uszczegółowień wymagają następujące uwagi:

- 1) W pracy podjęto próbę oceny trwałości zmęczeniowej grupy połączeń spawanych wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości. W przypadku spawanych konstrukcji stalowych problemy zmęczenia wysokocyklowego są dobrze rozpoznane, a odpowiednie metody obliczeń wprowadzono do norm międzynarodowych i krajowych. Natomiast problem zmęczenia niskocyklowego jest dotychczas mniej rozpoznany, a przecież w obrębie spoin odkształcenia sprężysto-plastyczne występują przy stosunkowo niskich naprężeniach nominalnych. Z jakich względów Doktorant nie skupił swojej uwagi na problemie niskocyklowej trwałości zmęczeniowej badanych połączeń?
- 2) Badania własne właściwości wytrzymałościowych rozważanych stali wysokowytrzymałych ograniczono jedynie do stali S1100QL, przy czym również w tym przypadku nie wyznaczono wartości modułu sprężystości wzdłużnej. W przypadku pozostałych gatunków stali właściwości te zaczerpnięto z normy. Jakie wartości granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenia i modułu

sprężystości wzdłużnej przyjęto, jeżeli w normie zapisane są jedynie ich wartości minimalne i to zależne od grubości badanych elementów? Zdaniem recenzenta zastosowano daleko idące uproszczenie, a uzyskane wyniki obliczeń trudno uznać jako podstawę do jednoznacznego sformułowania niektórych zamieszczonych w pracy wniosków. Jest to niezwykle istotne z punktu widzenia wyników pomiarów i obliczeń numerycznych naprężeń własnych opisanych w rozdziale ósmym. Osobnym zagadnieniem jest źródło danych dotyczących właściwości fizycznych badanych stali, z pewnością wykorzystywanych podczas symulacji procesu spawania.

- 3) Wyniki badań w postaci wartości wytrzymałości na rozciąganie oraz udarności zilustrowano w postaci krzywej Gaussa wyliczając wartość średnią, jednak z pominięciem wyliczenia odchylenia standardowego. Zapewne z uwagi na tzw. przypadki odstające podczas analizy wyników badań wprowadzono również wartość mediany, jednak przypadki te mogą wynikać z zasygnalizowanej w pracy obecności niedoskonałości wewnętrznych złączy. Na jakiej podstawie stwierdzono możliwość występowania takich niedoskonałości i w jakim stopniu mogą one obciążać uzyskane wyniki badań? Dlaczego zdaniem Doktoranta mogły one wywrzeć większy wpływ na wartości wytrzymałości na rozciąganie niż udarności?
- 4) Opis propagacji pęknięć podczas badań zmęczeniowych połączeń spawanych przeprowadzono w oparciu o pojedyncze fotografie przekrojów poprzecznych próbek, wykonanych z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego. Nie daje to możliwości wiernego odwzorowania procesu pęknięcia i znacznie zuboża możliwości szczegółowego opisu oraz wnioskowania. Z jakich powodów zrezygnowano z przeprowadzenia badań mikrofraktograficznych z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej? Jakich informacji o przebiegu pęknięcia mogłyby one dostarczyć i jak wpłynąć na dalsze prace zmierzające do zwiększenia trwałości połączeń z wykorzystaniem np. wybranych obróbek pospawalniczych?
- 5) W pracy nie podjęto próby nakreślenia obszarów wykorzystania w praktyce inżynierskiej uzyskanych wyników przeprowadzonych badań. Zawarte w pracy stwierdzenia dotyczące wyników obliczeń i ich interpretacji, których przytoczenie wymagałyby szerszego opisu, z pewnością dają możliwość interesującej polemiki podczas obrony pracy.

Słowa krytyki muszą zostać sformułowane odnośnie edytorskich, a miejscami frazeologicznych i semantycznych niedoskonałości tekstu. Dotyczy to na przykład:

- sformułowań: „Występuje szereg publikacji w których analizowano wpływ cięcia termicznego procesów spawalniczych, czy obróbkę cieplnych wskutek symulacji pożarów [65], [76], [77].” (str. 56₃), „Metoda, którą należy je wykonać, pozycji spawania, gatunki materiałów dodatkowych i gazów, o ile są konieczne.” (str. 67²), „: „Z uzyskanych wyników rozciągania sporządzono rozkłady normalne dla lepszego przedstawienia wytrzymałości.” (str. 70²), „Jak widać charakterystyka losowa ma znacznie lepszą trwałość niż próbki z obciążeniem cyklicznym. Trwałość dla tej próby plasuje się pomiędzy trwałością dla próbek cyklicznych a materiałem podstawowym (str. 84₄), „Napężenia to z definicji stan fizyczny obiektu w którym przyjmuje się że rozkład naprężeń wewnętrznych w danym elemencie nie został wywołany poprzez obciążenia zewnętrzne [93].” (str. 87₁) - Doktorant zapewne miał na myśli napężenia własne, „Na rysunku 65 przedstawiono ogólną charakterystykę parametrów analizy a równania 13 i 14 przedstawiają ich definicję.” (str. 100₃) i szeregu innych.
- kończenia podrozdziałów rysunkami lub tabelami (np. rys. 5 str. 13, rys. 11 str. 23, rys. 20 str. 37, rys. 56 str. 94, i szereg innych),
- braku powołania w tekście na rys. 6, rys. 7, rys. 8, rys. 21, tabelę 5 oraz tabelę 11
- powołania na tablicę 2, której w rozprawie nie zamieszczono (str. 33²),
- braku wyjaśnień oznaczeń na rys. 27 i rys. 28,
- błędnego przywołania: rys. 21 zamiast rys. 22 (str. 41₃), rys. 41 zamiast rys. 42 (str. 78₁₂) oraz rys. 42 zamiast rys. 43 (str. 78₁)
- błędnego odwołania do tabeli 8 zamiast do tabeli 9, w której zamieszczono skład chemiczny stali S1100QL (str. 62²),
- stosowania w pracy dwóch czasów: przyszłego i przeszłego, niekiedy po sąsiedzku, np.: „Spoina będzie wielościęgowa spawana dwoma rodzajami elektrod. Ścieg przetopowy został wykonany elektrodą ...” (str. 67⁸),
- dość częstego posługiwania się językiem potocznym i nieprecyzyjnymi sformułowaniami, np. „Wyniki próby udarności wypadły lepiej niż próby rozciągania.” (str. 73₃),
- niekiedy lapidarnych, bez niezbędnych wyjaśnień, podpisów pod rysunkami, np. „Rysunek 40 SHM250 [91]”, zamiast np.: „Rysunek 40. Stanowisko pomiarowe z hydrauliczną maszyną do badań zmęczeniowych SHM 250 [91]”,

- wprowadzenia zapisów „Badania NDT – nieniszczące” oraz „Badania DT – niszczące” w tytułach punktów 6.1 i 6.2. Skrót NDT, co oczywiste, wywodzi się z anglojęzycznego pojęcia „non destructive testing”, a DT od „destructive testing”. Zbędne są zatem dodatkowe zapisy „nieniszczące” i „niszczące”,
- licznej grupy pojedynczych liter pozostawionych na końcach wierszy,
- licznych braków znaków interpunkcyjnych.

W trakcie czytania pracy zauważono również inne błędy w tekście, które przekazano bezpośrednio Autorowi do wykorzystania w przygotowaniu publikacji.

Przytoczone uwagi nie wpływają na ogólnie pozytywną ocenę poziomu recenzowanej rozprawy, zawierającej szereg wartościowych wyników i analiz. Doktorant wykazał się zadawalającym opanowaniem występujących w pracy zagadnień teoretycznych i metodyk badawczych, a do jego oryginalnych osiągnięć zaliczam:

- 1) Zbadanie właściwości wytrzymałościowych, w tym trwałości zmęczeniowej, stali S1100QL, nieujętej w aktualnie obowiązujących wydaniach norm.
- 2) Ustalenie w oparciu o wytyczne normatywne właściwości mechanicznych połączeń spawanych szerokiej grupy stali wysokowytrzymałych S690QL, S890QL, S960QL i S1100QL wykonanych przy różnych parametrach spawania, w szczególności wyznaczenie ich wytrzymałości na rozciąganie oraz udarność.
- 3) Określenie trwałości zmęczeniowej połączeń spawanych stali S1100QL z uwzględnieniem parametrów spawania, w warunkach stałoaamplitudowych i losowych przebiegów zmian obciążenia.
- 4) Dokonanie opisu procesu propagacji pęknięć zmęczeniowych z uwzględnieniem energii liniowej spawania stali S1100QL.
- 5) Wyznaczenie wartości i rozkładu naprężeń własnych w obrębie badanych połączeń spawanych z wykorzystaniem metody trepanacji otworowej oraz ich weryfikacja w oparciu o wyniki symulacji numerycznych.
- 6) Dokonanie symulacji procesu spawania ze spoiną wielościgową z wykorzystaniem nieliniowego modelu materiału i kinematycznego modelu jego umocnienia.
- 7) Ustalenie wpływu parametrów spawania na wytrzymałość na rozciąganie połączeń spawanych badanych stali wysokowytrzymałych S6909QL, S890QL, S960QL i S1100QL.



4. Wniosek końcowy

Z przedstawionej wyżej oceny rozprawy Pana mgr inż. Fabiana Żoka wynika, że:

- wybór tematyki pracy został przeprowadzony w sposób trafny i odnosi się do aktualnej wiedzy i praktyki,
- Doktorant posiada umiejętność zaprojektowania zadań naukowych i ich realizacji nowoczesnymi metodami,
- podjęte w rozprawie trudne zadania zostały zrealizowane na właściwym poziomie,
- przeprowadzone analizy obserwowanych zjawisk, opracowanie wyników i forma wniosków nie budzą istotnych zastrzeżeń,
- treść rozprawy stanowi zamkniętą całość i posiada zadowalającą dokumentację z badań własnych.

Przytoczone fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na jego satysfakcjonującą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Inżynieria mechaniczna”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą. 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 „Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku oraz dodatkowo Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, jednocześnie wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Opolskiej o dopuszczenie Autora do jej publicznej obrony.

