

Gliwice, 13.01.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartłomieja Kucel
nt. „Analiza wpływu parametrów technologicznych spawania cienkościennych elementów
stosowanych w budowie silnika lotniczego na minimalizację ich deformacji”
wykonanej pod opieką promotora Pana dra hab. inż. Marka Mroza, profesora uczelni
opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Rzeszowskiej
z dnia 27 listopada 2024 r.

I. Formalna podstawa recenzji

Podstawę formalną opracowania przedmiotowej recenzji stanowi powołanie mnie zgodnie z artykułem 190 ust.2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zm.) na recenzenta rozprawy doktorskiej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora, przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej oraz otrzymane od Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Pana profesora dra hab. inż. Andrzeja Burghardta pisma z dnia 27.11.2024 nr RM-530-07-02/2024 dotyczące sporządzenia recenzji z jednoznaczną konkluzją dotyczącą spełnienia przez Doktoranta wymagań zawartych w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zm.).

Za podstawę oceny rozprawy doktorskiej przyjęto następujące kryteria:

- struktura rozprawy, trafność sformułowania tematu, wyboru obszaru i przedmiotu badań,
- oryginalność celów badawczych, tezy i wkład autorski do dziedziny nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna,
- oryginalność rozwiązania problemu naukowego,
- metody badawcze wykorzystane w pracy do udowodnienia tezy głównej i celów badawczych,
- rezultaty badawcze,
- ogólna wiedza teoretyczna Kandydata w dyscyplinie inżynieria mechaniczna,
- umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

II. Ocena istotności problemu naukowego

Rozprawa poświęcona jest istotnym i interesującym, zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia, problemom związanym z właściwym doбором parametrów technologicznych spawania metodą 141 (TIG) cienkościennych elementów stosowanych w budowie silnika lotniczego, w tym badaniu ich wpływu na deformacje i odkształcenia elementów łączonych wynikającą z oddziaływania cyklu cieplnego procesu spawania. Poszukiwanie skutecznych metod relaksacji naprężeń spawalniczych prowadzących do redukcji deformacji, przez zastosowanie np. odpowiedniego oprzyrządowania spawalniczego, doboru parametrów spawania czy obróbki cieplnej po spawaniu, jest szczególnie istotne w kontekście powstawania zagrożeń dla użytkowników konstrukcji lotniczych oraz zrównoważonej produkcji, ale również niezwykle ważne z punktu widzenia konieczności przeprowadzania skutecznych analiz ich przyczyn i podejmowania działań zapobiegawczych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje udane podejście do przeciwdziałania deformacji złączy spawanych cienkościennych elementów konstrukcyjnych silników lotniczych, przez usprawnienie procesu spawania w wyniku zaprojektowania specjalistycznego oprzyrządowania spawalniczego oraz opracowania założeń technologicznych wytwarzania gotowych wyrobów.

Struktury lotnicze, tak jak większość obiektów technicznych składają się z oddzielnych elementów wymagających ich łączenia. Złącza spełniają ważne i odpowiedzialne zadania polegające na przenoszeniu obciążenia z jednych części na drugie, bądź całkowitym lub częściowym zabezpieczeniu przed przemieszczaniem poszczególnych elementów strukturalnych. Różnorodność spełnianych zadań oraz różnorodność łączonych materiałów wymagają stosowania często niskoenergetycznych technologii łączenia. Z reguły procesy spawalnicze wprowadzają do złącza mniejsze lub większe naprężenia, które mogą powodować znaczne odkształcenie a nawet zniszczenie połączenia. Zatem niezwykle ważną kwestią jest właściwa analiza deformacji połączeń elementów konstrukcyjnych, bowiem daje ona informacje jak unikać nieprawidłowości i jak im zapobiegać.

W związku z powyższym tematykę pracy uważam za celową i aktualną z naukowego punktu widzenia, ponadto wychodzącą naprzeciw oczekiwaniom przemysłu lotniczego. Aktualność podejmowanej tematyki potwierdzają polskie i europejskie programy badawcze finansujące projekty w zakresie nowoczesnych technologii materiałowych stosowanych w przemyśle lotniczym.

Śledząc na bieżąco rozwój stanu wiedzy dotyczącej problemów ze spawalnością stali nierdzewnych i stopów niklu typu Inconel stwierdzam, że przygotowanie przez mgra inż. Bartłomieja Kucel rozprawy doktorskiej o charakterze teoretyczno-doświadczalnym pt. *„Analiza wpływu parametrów technologicznych spawania cienkościennych elementów*

stosowanych w budowie silnika lotniczego na minimalizację ich deformacji” należy uznać za wybór trafny ze względu na znaczenie tematyki w zakresie poznawczym jak również możliwość praktycznego zastosowania wyników badań.

Problematyka, którą Doktorant podjął, jest mało zbadana, a przy tym bardzo istotna z naukowego i użytkowego punktu widzenia. Dlatego uważam, że temat pracy jest uzasadniony, interesujący i aktualny.

III. Charakterystyka i ocena formalna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska autorstwa Pana mgr inż. Bartłomieja Kucel o wyżej wymienionym tytule ma zwartą strukturę kanoniczną w której wyróżniono siedem rozdziałów głównych. Układ pracy umożliwia dość swobodne podążanie czytelnika za przedstawionymi w logicznie uzasadnionym ciągu przyczynowo-skutkowym opisami badań.

Opracowanie liczy 172 strony formatu A4, wraz ze stroną tytułową, podziękowaniami autora (s. 2), spisem treści (s. 3-4), wprowadzeniem (s. 5-6), przeglądem bibliograficznym (s. 7-50), analizą stanu zagadnienia i tezą pracy (s. 51-55), badaniami własnymi (s. 56-143), wnioskami szczegółowymi i końcowymi (s. 144-147) oraz podsumowaniem pracy (s. 148). Ponadto, praca zawiera streszczenie w języku polskim (s. 149-150) i języku angielskim (s. 151-152), spis bibliografii (s. 153-161), spis rysunków (s. 162-170) oraz spis tabel (s. 171-172).

Dwustronicowe „Wprowadzenie” dość dobrze zaznajamia czytelnika z tematyką rozprawy i uzasadnia motywację do jej podjęcia poprzez przedstawienie realnych problemów związanych z koniecznością przeciwdziałania deformacji połączeń spawanych cienkościennych elementów konstrukcyjnych silników lotniczych. Z informacji podanych przez Autora wynika, że praca ma charakter wdrożenia w warunkach przemysłowych firmy MB Aerospace.

Studium bibliograficzne zawiera opis stanu wiedzy w świetle analizy aktualnych pozycji krajowej i zagranicznej literatury technicznej. Autor przedstawił szczegółowy przegląd treści prac bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy dzieląc je na trzy główne nurty tematyczne związane z: materiałami stosowanymi w budowie silników lotniczych (rozdział 1), metodami spawania części lotniczych (rozdział 2) oraz naprężeniami i deformacjami spawalniczymi (rozdział 3). Na podkreślenie zasługuje trafny wybór zagadnień przedstawionych ww. rozdziałach poparty rzeczywistymi przykładami spotykanymi w praktyce przemysłowej, stosowny do tematu pracy zakres ich omówienia oraz zwięzły i przejrzysty sposób prezentacji.

W rozdziale czwartym zatytułowanym Analiza stanu zagadnienia i teza pracy, Autor na podstawie kwerendy opublikowanych wyników prac badawczych i wstępnych badań własnych trafnie formułuje tezę pracy. Rozdział piąty stanowi część eksperymentalną („Badania własne”), w której Doktorant określa zakres pracy umożliwiający osiągnięcie postawionych celów, charakteryzuje materiały badawcze, opisuje metodykę oraz analizuje wyniki badań nieniszczących

i niszczących złączy spawanych, w tym przeprowadza także analizę deformacji wykonanych złączy próbných - odpowiednio we właściwych podrozdziałach. Cel, zakres tematyczny i metodyka badawcza wskazane w rozprawie doktorskiej są dopasowane do dyscypliny inżynieria mechaniczna. Rozdział szósty stanowią wnioski szczegółowe i końcowe z badań: 16 wniosków szczegółowych i 2 akapity tekstu wniosków końcowych, w których Autor potwierdza, że w świetle powyższych konkluzji z pracy wszystkie cele zostały osiągnięte, a postawiona teza udowodniona. W rozdziale siódmym – Podsumowanie pracy, Doktorant zamieszcza informację, że zwieńczeniem wykonanych badań jest wdrożenie w firmie MB Aerospace nowo opracowanej technologii spawania automatycznego metodą TIG cienkościennych elementów silnika lotniczego, a najistotniejszym elementem tej technologii jest wykonanie oprzyrządowania spawalniczego o konstrukcji zapewniającej minimalizację deformacji spawalniczych już w trakcie procesu spawania. W dalszej części rozprawy, kolejno umieszczono cztery nienumerowane rozdziały obejmujące – streszczenie w języku polskim i języku angielskim, rozdział bibliografia, a także spis rysunków i tabel, co ułatwia analizę treści, a przy tym podnosi jakość opracowania rozprawy.

Wykaz cytowanej literatury zawiera 117 pozycji, co w ocenie recenzenta jest wystarczające do właściwego przeprowadzenia analizy stanu wiedzy w obszarze tematu rozprawy. Na przytoczone źródła literaturowe składają się krajowe oraz zagraniczne artykuły naukowe, normy, witryny internetowe, materiały branżowe, a także pozycje książkowe. Właściwie prawie wszystkie cytowania zaczerpnięte są z prac opublikowanych w XXI wieku. Wskazuje to, że podjęte badania są zgodne z najnowszymi trendami nauki. Zgromadzona literatura jest prawidłowo i trafnie cytowana. Można stwierdzić, że zebrano najważniejsze piśmiennictwo dotyczące tematu badań. Świadczy to dobrze o dociekliwości naukowej Doktoranta i pozwala na właściwą interpretację uzyskanych wyników. Rozprawa napisana jest na dobrym poziomie językowym, niemniej jednak w całej pracy Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów literowych, gramatycznych, stylistycznych, interpunkcyjnych i terminologicznych. Podczas oceny dysertacji pod względem językowym i edycyjnym napotkałem w tekście opracowania zaledwie kilka nieprawidłowości. Powinno być:

- 1) „...i ogranicza zużycie paliwa zamiast „...i ogranicza zużycia paliwa.” (str. 16);
- 2) „Rys. 17.” zamiast „rysunku Rys. 17.” (str. 27);
- 3) „Obydwa te efekty są widoczne na krzywej grzewczej pokazanej na Rys. 32.” zamiast „obydwa te efekty są widoczne na krzywej grzewczej pokazanej na Rys. 32.” (str. 41);
- 4) „... od temperatury przegrzania.” zamiast „... od temp przegrzania.” (str. 42);
- 5) „... co znacznie utrudnia montaż konstrukcji.” zamiast „... co znaczne utrudnia montaż konstrukcji.” (str. 51);
- 6) „Rys. 43. Nomogram do określania odkształcenia kąowego β [94]” zamiast Rys. 43. Nomogram do określania zniekształcenia kąowego β [94] (str. 52);

- 7) „... które stosowane są np. w produkcji suwnic.” zamiast „... które stosowane np. w produkcji suwnic.” (str. 54);
- 8) „rodzaj połączenia: spoina czołowa wykonana na całym obwodzie, złącze doczołowe.” zamiast „rodzaj połączenia: spoina obwodowa, złącze doczołowe” (str. 57);
- 9) „Położenie uchwytu spawalniczego, oprócz sterowania AVC,...” zamiast „Położenie spawalniczego, oprócz sterowania AVC,...” (str. 65);
- 10) Rys. 67. (str. 77) „automatyczny” zamiast „półautomatyczny”.

Jednakże niektóre sformułowania są użyte w pracy w sposób niezręczny lub niewłaściwy:

- 1) Autor bezkrytycznie wielokrotnie stosuje termin stale pólaustenityczne (str. 11-14). To terminologia niewłaściwa, szerzej nie znana i nie powinna być stosowana w opracowaniach naukowych;
- 2) Na str. 53 Autor wskazuje, że poprzez „podgrzewanie wstępne” na etapie produkcji po spawaniu można zredukować lub usunąć deformacje. Podgrzewanie wstępne stosuje się w celu redukcji naprężeń oraz deformacji na etapie opracowania procesu technologicznego spawania. Natomiast po spawaniu proces likwidowania deformacji elementu metalowego wykonuje się poprzez prostowanie termiczne za pomocą nagrzewania źródłem ciepła (np. płomieniem gazowym czy przez nagrzewanie indukcyjne);
- 3) Na str. 62 w tablicy 11 Autor stosuje niewłaściwe nazewnictwo. Czytamy „Napięcie obwodu otwartego” a powinno być „Napięcie stanu (biegu) jałowego”;
- 4) Na str. 84 w tablicach 14 i 15 Autor stosuje niewłaściwe nazewnictwo rodzaju elektrody nietopliwej. Czytamy „WC20” a zgodnie z normą ISO 6848 symbol elektrody to „WCe20”;
- 5) Na str. 111 Autor błędnie interpretuje wzór (4) na ilość wprowadzonego ciepła Q , wskazując, że, jest to wzór na energię liniową spawania E , chociaż wcześniej, str. 11, dokonał właściwej interpretacji wzoru.

Pomijając te nieliczne błędy, pod względem formalnym praca została opracowana poprawnie, jej struktura odpowiada przyjętym zasadom dla rozpraw doktorskich, a objętość wynika z potrzeby opisu przeprowadzenia obszernego programu badań.

IV. Ocena merytoryczna rozprawy

Tematyka pracy jest kontynuacją dwóch uzupełniających się i tradycyjnych dla Katedry Odlewnictwa i Spawalnictwa Politechniki Rzeszowskiej kierunków badań wykonywanych dla polskiego przemysłu lotniczego oraz innych, wysoko zaawansowanych technologicznie gałęzi gospodarki.

Proces spawania jest obecnie podstawową metodą trwałego łączenia w przemyśle lotniczym cienkościennych elementów ze stali nierdzewnych. W szczególności odnosi się to do procesu wytwarzania elementów silników lotniczych. W konstrukcji silników turbowentylatorowych oraz turboodrzutowych duża część połączeń to spawane automatycznie złącza doczołowe blach cienkich ze stali wysokostopowych. Bez względu na zastosowaną metodę w procesie spawania do materiału wprowadzana jest pewna ilość energii cieplnej, co wywołuje w efekcie zmienny cykl odkształceń pochodzenia termicznego, skutkujących zmianą wymiarów i kształtu łączonych elementów.

Występowanie w konstrukcji naprężeń spawalniczych jest zdecydowanie negatywne także w odniesieniu do jej nośności, gdyż mogą się one sumować z naprężeniami od oddziaływań zewnętrznych, doprowadzając do wyczerpania nośności materiału. Aby zmniejszyć ich negatywne skutki należy stosować właściwe rozwiązania konstrukcyjne i odpowiednie technologie spawania oraz zabiegi po spawaniu. Ważną funkcję w procesie spawalniczym spełniają również przyrządy i uchwyty stanowiące urządzenia do składania poszczególnych elementów względem bazy wymiarowej i do ustalenia ich względem siebie, do szepiania i spawania, a często również do spawania przy zwiększonej sztywności utwierdzonego elementu, co prowadzi do zmniejszenia odkształceń pozostających. Element spawany w tego typu przyrządach, stygnie w sztywnym zamocowaniu, co powoduje wystąpienie w nim zwiększonych odkształceń plastycznych i prowadzi do zmniejszenia sił w strefie aktywnej. Skuteczność takiego rozwiązania na zmniejszenie odkształceń zależy od stosunku sztywności elementu spawanego do sztywności przyrządu.

Naprężenia i odkształcenia spawalnicze to poważny problem wytwórczy, a ich mechanizm i skutki stanowią przedmiot badań wielu uczonych. Ośrodki przemysłowe stawiają coraz to wyższe wymagania w poszukiwaniu niezawodnych metod, które mogłyby się dobrze sprawdzić w przeciwdziałaniu i eliminacji skutków naprężeń i odkształceń spawalniczych. Wybór odpowiedniej technologii i przyrządów skutecznie przeciwdziałających naprężeniom i odkształceniom spawalniczym podyktowany jest często rodzajem i grubością materiału spawanego, geometrią wyrobu, warunkami eksploatacyjnymi, a nawet względami ekonomicznymi. Dane literaturowe wskazują, że zastosowanie właściwej techniki spawania oraz oprzyrządowania spawalniczego może przyczynić się do zmniejszenia deformacji i odkształceń spawalniczych, szczególnie w przypadku złączy spawanych blach ze stali wysokostopowych. Ponadto Doktorant w podsumowaniu z analizy studiów literaturowych wskazuje, że „w literaturze

technicznej jest niewiele opracowań opisujących metodologię opracowania konstrukcji oprzyrządowania spawalniczego, doboru parametrów spawania oraz ich wpływ na deformację cienkościennych elementów silników lotniczych, zwłaszcza wykonanych ze stali nierdzewnych i stopów niklu”.

Autor rozprawy odnajduje więc inspirację do podjęcia badań w powyższym obszarze. Z badań własnych Doktoranta realizowanych w Katedrze Odlewnictwa i Spawalnictwa Politechniki Rzeszowskiej oraz przedsiębiorstwie (MB Aerospace) wynika, że zaprojektowane i wykonane oprzyrządowanie spawalnicze w połączeniu z opracowaną technologią spełnia swoje funkcje użytkowe, zapewniając minimalizację deformacji podczas automatycznego spawania metodą TIG cienkościennych elementów silnika lotniczego wykonanych ze stali 17-4 PH i ze stopu Inconel 718. Utwierdza to w przekonaniu o prawidłowo obranej koncepcji planu badawczego i słuszności badań podjętych w powyższej rozprawie doktorskiej. Spawane metodą TIG złącza próbne wykonano w trybie pracy ręcznej i automatycznej z materiałem i bez materiału dodatkowego stosując wysokiej klasy urządzenia i osprzęt spawalniczy. Do wykonania spoin czołowych w złączach doczołowych wykorzystano dwa poprawnie dobrane komercyjne typy drutów litych: AMS 5825 oraz AMS 5832. Tematykę badań uważam za aktualną i istotną nie tylko z naukowego punktu widzenia, ale również użytecznego. Uzyskane wyniki doboru parametrów spawania oraz zaprojektowanego i wykonanego oprzyrządowania w kontekście badań na minimalizację deformacji cienkich elementów stosowanych w budowie silnika lotniczego powłok mogą stanowić cenną wskazówkę dla konstruktorów i technologów przy doborze materiałów do spawania i projektowania elementów części maszyn nie tylko w firmie MB Aerospace ale również innych zakładach o podobnym profilu produkcji, które zmagają się z problemami odkształceń i deformacji elementów spawanych ze stali wysokostopowych. Dlatego też wybór tematyki pracy jest w pełni uzasadniony, a sformułowanie tematu rozprawy poprawne. Na podstawie analizy stanu wiedzy Autor przyjął następującą tezę: *Opracowanie technologii spawania cienkościennych komponentów wykonanych ze stali 17-4 PH i ze stopu Inconel 718, opartej o nowe rozwiązanie konstrukcyjne oprzyrządowania spawalniczego oraz dobór parametrów technologicznych automatycznego spawania metodą TIG wraz z zastosowaną obróbką cieplną po procesie spawania, zapewni minimalizację ich deformacji spawalniczych oraz obniży koszty i podniesie jakość prac związanych z montażem silnika lotniczego*” oraz sformułował dwa cele naukowe pracy:

- określenie wpływu oprzyrządowania, parametrów automatycznego spawania metodą TIG oraz zabiegu obróbki cieplnej na deformacje spawalnicze cienkościennych elementów ze stali 17-4 PH i ze stopu Inconel 718 stosowanych w budowie silników lotniczych,
- określenie wpływu parametrów technologicznych automatycznego spawania metodą TIG na mikrostrukturę i właściwości użytkowe złączy spawanych cienkościennych elementów ze stali 17-4 PH i ze stopu Inconel 718, a także cel użyteczny:

Celem utilitytarnym pracy było opracowanie metody redukcji deformacji spawalniczych złączy spawanych wytwarzanych w firmie MB Aerospace, uwzględniającej rozwiązanie konstrukcyjne oprzyrządowania, parametry technologiczne spawania metodą TIG oraz obróbkę cieplną cienkościennych elementów silników lotniczych, celem obniżenia kosztów produkcji poprzez zmniejszenie ryzyka wystąpienia niezgodności wymiarowych na etapie obróbki mechanicznej części, a także zmniejszenie czasu obróbki mechanicznej.

Przedstawione przez Doktoranta cele i tezę uważam za właściwe, sformułowane w jasny i czytelny sposób. Doktorant właściwie zaplanował i zrealizował program badań. Dla osiągnięcia celów i udowodnienia tezy wykorzystał szerokie spektrum działań i metod badawczych obejmujących m.in. badania nieniszczące VT i PT, obróbkę cieplną złączy po spawaniu, badania makroskopowe, mikroskopię świetlną, mikroskopową analizę SEM połączoną z analizą składu chemicznego EDS, badania spektrometryczne rentgenowskie (XRF), pomiary profilu spoiny na cyfrowym projektorze profilowym, pomiary twardości metodą Vickersa oraz stanowiskowe badania wytrzymałości złączy na rozciąganie. Metodologia badań i zrealizowany program są poprawnie opisane i świadczą o dobrym przygotowaniu Autora w obszarze współczesnych metod pomiarowych i planowaniu badań.

Doktorant wykonał obszerne (zważywszy na liczbę próbek właściwą dla grup badawczych) pomiary geometrii złączy próbnych przed, po spawaniu oraz po obróbce cieplnej a także analizy deformacji połączonych elementów uwzględniając stopień odchylenia profilu od kształtu nominalnego, odkształcenia kąтового oraz skurczu poprzecznego.

Wyniki tych prac badawczych umożliwiły mu sformułowanie zaleceń technologicznych do wykonywania cienkościennych złączy spawanych ze stali 17-4PH i ze stopu niklu Inconel 718.

Pracę uważam za wartościową pod względem merytorycznym i praktycznym. Doktorant konsekwentnie i prawidłowo zrealizował zadania badawcze wchodzące w zakres rozprawy: przeprowadził obszerne i krytyczne studium literaturowe, zaproponował właściwe do osiągnięcia celu pracy badania i analizy, przeprowadził zaawansowane i komplementarne badania eksperymentalne ukierunkowane na osiągnięcie założonych celów. Analiza wyników badań jest przeprowadzona dość konsekwentnie, prawidłowo, z odniesieniami do wyników badań z literatury i zakończona pozytywną weryfikacją zaprojektowanego i wykonanego oprzyrządowania spawalniczego oraz zaleceniami technologicznymi spawania.

W podsumowaniu chciałbym podkreślić, że zaplanowane cele i zakres pracy w pełni zostały osiągnięte i dlatego całość rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartłomieja Kucel oceniam pozytywnie. Doceniam zwłaszcza trafnie przyjęty zakres metod badawczych oraz dużą liczbę przeprowadzonych badań. Forma prezentowania wyników, rzeczowy sposób ich analizy oraz przedstawione wnioski świadczą o dojrzałości badawczej Doktoranta. Sposób przygotowania rozprawy i jej szata graficzna nie budzą moich zastrzeżeń.

V. Uwagi dyskusyjne

Spośród kilku uwag, które są nieuniknione przy tak obszernych badaniach, uważam, że niektóre z nich wymagają wyjaśnienia. Podczas lektury rozprawy nasunęło mi się kilka wątpliwości i pytań, na które chciałbym otrzymać odpowiedzi.

1. Na podstawie jakich kryteriów dokonano wstępnego doboru parametrów procesu spawania?
2. Jakie przesłanki towarzyszyły wyborowi spoiw? Dlaczego w pracy nie podano składu chemicznego materiałów dodatkowych do spawania a jedynie gatunki drutu elektrodowego?
3. Proszę wyjaśnić czy w tab. 25 str. 113 przedstawiono obliczenia energii liniowej (wzór (4) str. 49) czy ilości wprowadzonego ciepła (wzór str. 111)? Czy i jaką wartość współczynnika sprawności cieplnej zastosowano podczas obliczania ilości wprowadzonego ciepła?
4. Na str. 113, rys. 127 dysertacji Doktorant przedstawia porównanie energii liniowej procesu do średnich wartości odkształceń kątowych. W przypadku spawania ręcznego z materiałem dodatkowym (złącza A.1 i B.1) przy takiej samej ilości wprowadzonego ciepła do obu materiałów, zarówno stali 17-4PH jak i stopu Inconel 718, wyraźnie widać negatywny wpływ obróbki cieplnej na średnią wartość odkształceń kątowych w złączu ze stopu na bazie niklu. Natomiast w przypadku spawania automatycznego tych materiałów bez udziału spoiwa (złącza A.4 i B.3) efekt jest odwrotny, tzn. obróbka cieplna zwiększa znacząco średnią wartość odkształceń kątowych w złączu ze stali 17-4PH. Proszę o wyjaśnienie tego stanu rzeczy.
5. W postawionej tezie pracy Doktorant stwierdził, że opracowana technologia automatycznego spawania metodą TIG cienkościennych komponentów wykonanych z badanych materiałów, oparta o nowe rozwiązanie konstrukcyjne oprzyrządowania spawalniczego wraz z zastosowaną obróbką cieplną po procesie spawania, zapewni minimalizację ich deformacji spawalniczych – co zostało udowodnione w świetle przedstawionych wyników badań, oraz obniży koszty i podniesie jakość prac związanych z montażem silnika lotniczego. Proszę o wyjaśnienie, czy opracowana technologia została wdrożona i czy przyczyniła się do poprawy produktywności w firmie MB Aerospace.

Pomimo postawienia powyższych uwag, rozprawę oceniam pozytywnie pod względem zarówno formalnym, jak i merytorycznym. W moim przekonaniu, Doktorant udowodnił, że jest dobrze przygotowany metodologicznie do planowania i realizacji badań naukowych.

VI. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska pt. *„Analiza wpływu parametrów technologicznych spawania cienkościennych elementów stosowanych w budowie silnika lotniczego na minimalizację ich deformacji”* jest wartościowym osiągnięciem naukowym Pana mgra inż. Bartłomieja Kucel. Doktorant zaprezentował w recenzowanej dysertacji komplementarne i merytorycznie dobrze uzasadnione wyniki badań i analiz, zastosował nowoczesne metody badawcze i wykazał dużą wiedzę w zakresie spawalnictwa oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Dobrze oceniam również szczegółowy przegląd literatury właściwie opisujący stan wiedzy dotyczącej poruszanej w rozprawie tematyki oraz formę prezentacji osiągnięcia.

Opiniowana praca doktorska spełnia wymagania Ustawy z dnia 20.07.2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z roku 2022 poz. 574 z późn. zm.) oraz wcześniejsze regulacje prawne i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie Pana mgra inż. Bartłomieja Kucel do publicznej obrony pracy w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Sporządził:

Artur Czerwinski