

Kraków 20.01.2024

Dr hab. inż. Grzegorz Boczkal, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Metali Nieżelaznych
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Agnieszka Nalborczyk-Kazanecka

pt.: „Wpływ czynników technologicznych i materiałowych na właściwości i jakość złączy spawanych metodami wysokoenergetycznymi ze stali 17-4PH oraz stopu niklu Inconel 718”

przygotowanej pod kierunkiem: dr hab. inż. Grażyna Mrówka-Nowotnik, prof. PRz, oraz promotora pomocniczego: dr inż. Marcin Zawadzki

1. Podstawa prawna sporządzenia recenzji

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem przez Radę Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Rzeszowskiej do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych dla Pani mgr inż. Agnieszka Nalborczyk-Kazanecka.

Zgodnie z artykułem 187 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, rozprawa doktorska ma prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej. Ponadto, przedmiotem rozprawy doktorskiej ma być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

2. Podstawa faktyczna recenzji

Recenzja sporządzona została na podstawie oceny rozprawy doktorskiej przedłożonej przez Panią mgr inż. Agnieszkę Nalborczyk-Kazanecka.

Praca liczy 193 strony wraz z załącznikami, bibliografia liczy 114 pozycji.

3. Ocena celu pracy, postawionej tezy oraz elementów nowości rozprawy

Głównym celem rozprawy doktorskiej było określenie wpływu różnych czynników technologicznych, procesowych i materiałowych na własności i jakość złączy spawanych wytworzonych metodami wysokoenergetycznymi.

Cel rozprawy został wyznaczony w oparciu o informacje literaturowe oraz praktykę przemysłową i dotyczy najważniejszych problemów, które dotyczą technologii spajania badanych stopów. Jest to istotne zwłaszcza ze względu na odpowiedzialne elementy np. dla przemysłu lotniczego, które są wykonywane z tych stopów i muszą być łączone technikami spawalniczymi. Problemy dotyczą zwłaszcza połączeń pomiędzy elementami poddanymi różnym wariantom obróbki cieplnej oraz utrzymania wysokiej jakości połączeń w masowej produkcji.

Tematyka pracy dotyczy eliminacji problemów technologicznych pojawiających się podczas spawania różnymi metodami oraz skupia się na optymalizacji parametrów technologicznych w celu osiągnięcia jak najlepszego efektu finalnego.

Mankamentem recenzowanej pracy jest brak postawionej tezy, która pozwoliłaby na lepsze profilowanie planu badawczego oraz precyzyjnie zdefiniowała badany problem i koncepcję jego rozwiązania. Nie jest ona jednak wymagana w pracy o charakterze technologicznym.

Na podstawie informacji przedstawionych w rozprawie można stwierdzić, że cel pracy został precyzyjnie zdefiniowany, a jego osiągnięcie w trakcie realizacji recenzowanej pracy stanowi istotny wkład w rozwój technologii spawalniczej. Tematyka poruszana w pracy zawiera istotny element nowości w dziedzinie do której się odnosi.

4. Ocena części teoretycznej pracy

W części teoretycznej pracy przedstawiono historię rozwoju procesów spawalniczych, a następnie skupiono się na charakterystyce metod spawania wykorzystanych w pracy. Były to spawanie elektrodą nietopliwą w osłonie gazu obojętnego TIG oraz spawanie wiązką elektronów EBW.

Chociaż jak pisze Autorka, metody te są najczęściej stosowane w przemyśle lotniczym, korzystne byłoby odniesienie ich do innych popularnych metod spawalniczych, wraz z przedstawieniem zakresu zastosowań. Jest to tym istotniejsze, że w kolejnym rozdziale opisane zostały spawalnicze źródła ciepła oraz podano ich współczynniki sprawności cieplnej. W połączeniu z analizą energetyczną procesu spawania byłoby to cenne uzupełnienie pracy.

Kolejny rozdział poświęcono wadom spawalniczym. Jest on w mojej opinii potraktowany zbyt powierzchownie. Tematyka defektów powstających podczas procesów spawania różnymi metodami jest bardzo obszerna i obejmuje zarówno przyczyny jak i sposoby zapobiegania niekorzystnym zjawiskom.

W dalszej części Doktorantka zamieściła charakterystykę stali odpornych na korozję i umacnianych wydzieleniowo oraz nadstopów niklu. Rozdziały te skupiają się głównie na szczegółowej analizie badanych w pracy stopów, tj. 17-4PH oraz Inconel 718. Opisano metody obróbki cieplnej stosowane dla tych stopów oraz przeanalizowano ich spawalność. Istotnym składnikiem rozprawy jest opis potencjalnych problemów pojawiających się podczas ich spawania oraz opisane sposoby przeciwdziałania.

Kolejną część pracy stanowi syntetyczny opis problematyki badawczej i obszarów, gdzie brakuje powszechnie dostępnych informacji literaturowych i danych technologicznych. Wraz z danymi dotyczącymi problemów jakościowych obserwowanych w przedsiębiorstwie Pratt&Whitney Rzeszów stanowiło to podstawę znalezienia problemu badawczego i zdefiniowania celów pracy.

Stan zagadnienia opracowano w oparciu o 114 starannie dobranych pozycji literatury oraz praktyczną wiedzę Doktorantki zdobytą podczas realizacji praktycznych prac w badanym temacie.

Część teoretyczna pracy została przygotowana starannie i pomimo pewnych braków stanowi kompendium wiedzy wymaganej do analizy problemów poruszanych w niniejszej rozprawie. Zawiera ona zarówno aspekty teoretyczne poparte starannie dobraną literaturą, stanowiącą przegląd wiedzy w temacie, jak również opisy problemów technologicznych będące odzwierciedleniem doświadczeń własnych Autorki. W połączeniu z dyskusją i interpretacją wyników przedstawionych w dalszych częściach pracy, spełnia to kryterium posiadania ogólnej wiedzy teoretycznej w zakresie dyscypliny Inżynieria Materiałowa przez Kandydata.

5. Ocena przeprowadzonych badań

Rozdział badania własne rozpoczyna się szczegółowym opisem badanych stopów pod kątem ich docelowych zastosowań aplikacyjnych. Następnie Autorka opisuje proces przygotowania próbek do spawania. Część badawcza pracy zawiera dwa podrozdziały zawierające wyniki badań dla stopów 17-4PH oraz Inconel 718.

Przeprowadzone badania obejmowały zarówno testy nieniszczące, jak i klasyczne obserwacje mikro – makroskopowe.

Zbadane zostały cechy przełomów próbek po rozerwaniu, a także przeprowadzono szczegółowe analizy mikrostrukturalne połączone z identyfikacją występujących faz.

Wyznaczono własności mechaniczne wytworzonych połączeń. Badania mikrotwardości pozwoliły wyznaczyć charakterystykę zmian w zależności od strefy spawu. Wykonano także klasyczną próbę statycznego rozciągania, która pozwoliła na wyznaczenie podstawowych parametrów wytrzymałościowych i posłużyła do oceny porównawczej różnych wariantów parametrów spawania i obróbki cieplnej.

Zakres przeprowadzonych badań jest adekwatny do realizacji celu, jaki postawiła sobie Doktorantka. Duża ilość uzyskanych wyników pozwala na wnikliwą analizę wpływu warunków

wykonywania połączenia na końcowe parametry łączonych detali. Praca zawiera dużo odniesień technologicznych i może stanowić wytyczne przy modernizacji technologii spawania stali i nadstopów niklu.

Podsumowanie pracy (dyskusja) składa się z dwóch części. Jedna z nich dotyczy aspektów technologicznych procesu spawania i odnosi się do praktycznych realiów przemysłowych. Dotyczy to zwłaszcza technologii przygotowania powierzchni, powtarzalności parametrów procesu oraz doboru technologii spawania pod konkretne aplikacje.

Druga część podsumowania skupia się na budowie złącza oraz zmian mikrostrukturalnych w jego otoczeniu. Omówione zostały także kwestie własności mechanicznych i naprężeń spawalniczych. Doktorantka odniosła się również do praktycznych aplikacji na elementach produkcyjnych.

Część badawczą pracy kończą wnioski zawierające konkretne informacje i wskazówki technologiczne.

Praca jest obszerna i zawiera dużą ilość wyników będących rezultatem wielu typów badań. Niektóre poruszone kwestie wymagają jednakże doprecyzowania i dodatkowych wyjaśnień, dlatego proszę Doktorantkę o ustosunkowanie się do poniższych kwestii:

Uwagi do pracy:

- 1) Nasuwa się pytanie jakie znaczenie miało zanieczyszczanie powierzchni próbek chłodziwem w okresie 2 tygodni oraz w kolejnym wariancie 4 h przed spawaniem, a następnie czyszczenie ich alkoholem izopropylowym? Co Doktorantka miała na myśli pisząc „próbka mokra”? (warianty I3 oraz S3 w tabeli 4.3). Kolejna uwaga dotyczy wpływu operacji ślusarskich na jakość powierzchni i odniesienie ponownie do tabeli 4.3. Jedyna informacja o mechanicznym przygotowaniu powierzchni zamieszczona na str. 69 mówi tylko o mechanicznym usunięciu zanieczyszczeń z powierzchni tarczą listkową oraz przedmuchem sprężonym powietrzem. W tabeli 4.3 nie ma o tym wzmianki.
- 2) Co Autorka miała na myśli pisząc na stronie 70 o zabiegu przestarzenia stopu 17-4PH? Jaki był cel takiej obróbki?
- 3) Nie zamieszczono wyjaśnienia użytych oznaczeń np. TI3 oraz GS2 na stronie 71. W początkowej części metodyki powinien znaleźć się opis sposobu oznaczania poszczególnych próbek albo odnośnik do stosownej tabeli (która znajduje się w dalszej części pracy).
- 4) W części badawczej na stronie 78 Autorka pisze, że parametry obróbki cieplnej stopów, zarówno jako materiałów wyjściowych jak i gotowych złącz spawanych, dobrano na podstawie literatury. Czy dokonano konfrontacji uzyskanych podczas realizacji pracy wyników własności mechanicznych tak obrobionych cieplnie próbek z wynikami innych autorów?
- 5) Na str. 92 napisano, że dla próbek uzyskanych metodą EBW zaobserwowano wzrost komórkowo-dendrytyczny. Jaki jest jego mechanizm i jak można ograniczyć jego powstawanie?

- 6) Na str.102. użyto pojęcia „przemiana silnie przestrzennego martenzytu” co Doktorantka miała na myśli? Jak martenzyt zaobserwowany w strefie wpływu ciepła (rys. 5.12) będzie wpływał na własności połączenia?
- 7) Wszystkie próbki stali 17-4PH zerwane w statycznej próbie rozciągania (rys. 5.19) pękały na granicy strefy wpływu ciepła. Dotyczyło to zarówno połączeń wykonanych metodą TIG jak i EBW. Dotyczyło to stanu również po obróbce cieplnej spawu. Czy połączenia ze stopu Inconel 718 pękały w tym samym miejscu? Jaki mechanizm strukturalny może być tego przyczyną?
- 8) Doktorantka podaje w pracy wyniki statycznej próby rozciągania spawanych próbek. Badania mikrotwardości i mikrostruktury pokazują duże różnice w strefie spawu, strefie wpływu temperatury oraz materiale rodzimym. Jak w takim niejednorodnym układzie wyznaczyć wydłużenie? Przyjmując, że materiał odkształca się w najłagodniejszym miejscu, odkształcenie dotyczy tylko stosunkowo niewielkiej strefy materiału, a nie całej bazy próbki. Proszę Autorkę o komentarz w tej kwestii.
- 9) Na stronie 124 podano wyniki pomiarów naprężeń wewnętrznych w stopie 17-4PH spawanego metodą EBW i obrabianego cieplnie w różnych warunkach. Czy podobne badania wykonano dla metody TIG oraz drugiego badanego stopu, Inconel 718?
- 10) Na krzywych uzyskanych w próbie statycznego rozciągania Autorka podaje błędne oznaczenie umownej granicy plastyczności jako $Re_{0.2}$, podczas gdy prawidłowe oznaczenie zgodne z normą to $Rp_{0.2}$, natomiast Re to granica sprężystości.

Pomimo zamieszczonych uwag uważam pracę za wartościową i wpisującą się dobrze w cykl badań o charakterze technologicznym w zakresie połączeń metodami spawania.

Realizując część badawczą pracy, Autorka wykazała, że posiada umiejętności niezbędne do samodzielnej pracy naukowej i wyciągnięcia właściwych wniosków z uzyskanych wyników.

6. Ocena strony edytorskiej pracy

Praca została napisana w układzie klasycznym. Zawiera wstęp teoretyczny dotyczący przedmiotu pracy oraz część dotyczącą stanu zagadnienia gdzie opisano szczegółowo problem będący przedmiotem pracy. W dalszej części postawiono cel pracy oraz opisano metodykę planowanych do przeprowadzenia badań. Główną część pracy stanowi rozdział zatytułowany „Badania własne”, gdzie zawarto wszystkie wyniki prowadzące do realizacji celu pracy.

Osobny rozdział poświęcono analizie i dyskusji uzyskanych wyników, a jako podsumowanie pracy przedstawiono wnioski końcowe i zalecenia technologiczne.

Pracę zamyka spis literatury oraz załączniki.

Praca została napisana w sposób przejrzysty i łatwy w odbiorze dla czytelnika. Chronologia pracy jest logiczna i konsekwentna.

Treść pracy jest poprawna językowo, jednakże Autorka nie ustrzegła się pewnej ilości błędów interpunkcyjnych i stylistycznych, które nie umniejszają wartości merytorycznej i ogólnej wysokiej oceny rozprawy.

Opracowanie graficzne pracy jest na dobrym poziomie, wszystkie rysunki i wykresy są czytelne i zostały starannie opracowane pod względem jakości.

Dane tabelaryczne są kompletne i ujednolicone pod względem graficznym.

Literatura została opracowana w sposób ujednolicony, wszystkie pozycje posiadają stosowne odwołania w tekście rozprawy.

7. Podsumowanie recenzji

Zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagane warunki, a w szczególności:

kryterium ogólnej wiedzy teoretycznej osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie Inżynierii Materiałowej, wykazuje umiejętność Doktorantki do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by a cursive name.