

dr hab. inż. Grzegorz Rogalski, prof. PG
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Instytut Technologii Maszyn i Materiałów
Zakład Technologii Materiałów Konstrukcyjnych i Spajania
ul. Gabriela Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Gdańsk, 12.12.2024

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Przybyły „Mechaniczna redukcja naprężeń i odkształceń spawalniczych w elementach ze stali konstrukcyjnych poprzez przekuwanie pneumatyczne o dużej częstotliwości”

wykonanej pod opieką Promotora Pana dr. hab. inż. Jacka Górki, prof. PŚ
na podstawie pisma Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej
pod przewodnictwem Pana Prof. dr. hab. inż. Adama Grajcara z dnia 22 października 2024
roku. Sygnatura pisma: RDIMa.512.16.2024

Wprowadzenie, tematyka rozprawy

Od wielu lat widoczny jest bardzo dynamiczny rozwój wielu sektorów przemysłowych, w których stosowane są procesy spawalnicze, ze szczególnym uwzględnieniem spawania jako procesu pozwalającego na wykonanie połączeń nierozłącznych. Do wykonania spoin stosowane są procesy o różnej charakterystyce źródeł ciepła. Może być to płomień gazowy, łuk elektryczny, strumień plazmy, wiązka laserowa czy wiązka elektronów. Ich wspólną cechą jest wprowadzenie ciepła, co z jednej strony umożliwia wykonanie połączenia, ale z drugiej generuje naprężenia i w konsekwencji prowadzi do odkształcenia łącznych elementów. Ich postaci są różne i uwarunkowane wieloma zmiennymi istotnymi związanymi z samym procesem spawania oraz powiązanymi elementami technologicznymi np. dobór rodzaju złącza i spoiny, geometria rowka spawalniczego, zastosowanie odpowiedniej kolejności spawania itp. Warunkiem wystąpienia trwałych odkształceń i naprężeń własnych jest przyrost temperatury tak wysoki, aby odpowiadające mu odkształcenia cieplne były wyższe od odkształceń, odpowiadających granicy plastyczności. Ma to niezwykle istotne znaczenie ze względu na szeroką gamę materiałów podstawowych wykorzystywanych do budowy różnego rodzaju wyrobów. Odmienność pod względem strukturalnym pozwala na uzyskanie różnych parametrów wytrzymałościowych oraz eksploatacyjnych, które w dużej mierze zależą od temperatury. Do podstawowych należy zaliczyć Moduł Younga, granicę plastyczności oraz współczynnik rozszerzalności cieplnej. Połączenie procesów spawania opisanych wieloma zmiennymi zasadniczymi oraz wymienionych czynników sprawia, że predykcja naprężeń i związanych z nimi odkształceń jest bardzo trudna, nawet przy zastosowaniu bardzo rozwiniętych modeli numerycznych i specjalistycznego oprogramowania. Znane są metody ograniczania i redukcji odkształceń spawalniczych. Do najczęściej stosowanych należy zaliczyć obróbkę cieplną (wyżarzanie odprężające), stabilizację wibracyjną oraz przekuwanie. Zastosowanie wymienionych procesów zależy przede wszystkim od gatunku spawanych materiałów, grubości łączonych elementów oraz wymiarów geometrycznych wyrobu

(konstrukcji, ustroju). Taka różnorodność pozwala na ich aplikacje w odniesieniu do szerokiego spektrum sektorów przemysłowych np. energetycznego, chemicznego (wymyenniki ciepła, zbiorniki ciśnieniowe, kotły, zbiorniki buforowe na wodór), budowlanego (konstrukcje stalowe mostowe), offshore (elementy konstrukcyjne platform wiertniczych) itp. Minimalizacja lub redukcja naprężeń oraz odkształceń spawalniczych jest jednym z największych problemów z jakim mierzą się współcześnie Inżynierowie Spawalnicy.

W mojej ocenie podjęta tematyka rozprawy jest bardzo aktualna i niezwykle interesująca, nie tylko ze względów poznawczych, ale również praktycznych. Wskazują na to doniesienia w specjalistycznych periodykach naukowych oraz praktyka przemysłowa. Uważam również, że zaproponowane w pracy rozwiązania są niezwykle ważne i wychodzą naprzeciw potrzebom przemysłu, które ciągle ewoluują. Można wręcz przywołać zmodyfikowaną maksymę do postaci „*lepiej zapobiegać niż naprawiać*”. Przywołane fakty potwierdzają słuszność podjęcia przez Doktoranta prac w ramach recenzowanej dysertacji.

Struktura rozprawy i jej charakterystyka

Recenzowana rozprawa liczy 187 stron, w tym 6 rozdziałów wraz z podrozdziałami. Podsumowanie i wnioski zapisano w rozdziale 6. Streszczenie w języku polskim i angielskim oraz literatura stanowią nieponumerowane rozdziały, co jest właściwą praktyką. Moim zdaniem brakuje wykazu oznaczeń i skrótów, tym bardziej, że w pracy są one stosowane np. HFMI, σ_x , σ_y , σ_z , $t_{8/5}$, CTPc-S i inne.

Struktura pracy jest odpowiednia, czytelna i kompletna. Autor rozpoczyna od wstępu, w którym wprowadza czytelnika w poruszaną tematykę. Kolejna część to przegląd piśmiennictwa zawarty w rozdziale 2 wraz z licznymi podrozdziałami o łącznej liczbie stron 40. W tej części Doktorant przedstawia stan wiedzy w zakresie charakterystyki stali konstrukcyjnych i ich spawalności, naprężeń i odkształceń spawalniczych, metod minimalizacji oraz redukcji naprężeń i odkształceń. W rozdziale 2.6 dokonano podsumowania przeglądu literatury, który należy uznać za właściwy. Przywołana bibliografia jest odpowiednia w odniesieniu do poruszanej tematyki. W rozdziale 3 (Praca własna) Doktorant przedstawił cele pracy (naukowe oraz technologiczne) oraz tezę o następującej treści:

„Poprzez odpowiedni dobór metody redukcji naprężeń i odkształceń oraz parametrów procesu przekuwania o wysokiej częstotliwości, istnieje możliwość redukcji naprężeń i odkształceń powstających w złączach spawanych stali konstrukcyjnych pozwalając na uzyskanie złączy o akceptowalnej i określonej normami jakości oraz wytrzymałości”

Wydaje się, że bardziej właściwym byłoby jako pierwsze przedstawienie celów, a następnie tezę pracy. To wyznaczone cele w mojej opinii są podstawą do sformułowania i postawienia tezy. Sama treść tezy pracy jest poprawna i nie mam do niej żadnych zastrzeżeń. W kolejnych podrozdziałach od 3.4 do 3.7 autor opisuje elementy pracy takie jak: metody eksperymentalne, materiały użyte do badań, spawanie doczołowych złączy próbnych, przekuwanie międzyścięgowe HFMI, obróbka cieplna złącza spawanego, spawanie złączy teowych, przekuwanie międzyścięgowe w trakcie i po spawaniu, pomiar a wykorzystaniem laser truckera, modelowanie procesów spawania i procesów towarzyszących z wykorzystaniem MES. Rozdział 4 wraz z podrozdziałami zawiera charakterystykę przeprowadzonych badań wraz z ich szczegółowym opisem. Wyróżnić tu należy pomiar naprężeń z wykorzystaniem efektu Barkhausena, analizę mikrostruktury z wykorzystaniem dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD, jakościową analizę fazową oraz pomiary naprężeń z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej. Jak widać doktorant zastosował szereg

metod badawczych, co świadczy o dobrze rozwiniętym warsztacie naukowym. W zrozumiałym sposobie wyjaśniono zasady przeprowadzenia poszczególnych badań oraz wykonywanych pomiarów. Należy równocześnie podkreślić, że wykorzystane narzędzia i metody badawcze są adekwatne do poszukiwanych wielkości, które następnie poddane zostały odpowiedniej analizie merytorycznej. W rozdziale 5 przedmiotowej dysertacji przedstawiono wyniki badań, które zaplanowano i przedstawiono na rysunkach 24 i 25 (strona 52). Należy tu wyróżnić badania właściwości mechanicznych (Statyczna próba rozciągania złączy spawanych, Próba zginania, Badania udarności – praca łamania), badania twardości, badania metalograficzne mikroskopowe, analiza mikrostruktury wybranych próbek z wykorzystaniem dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD, analiza składu fazowego oraz pomiar stanu naprężeń z wykorzystaniem dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego w złączach doczołowych, pomiary stanu odkształcenia złączy teowych z wykorzystaniem laser trackera, modelowanie i symulacja stanu odkształceń MES dla wybranych złączy spawanych. Prace kończy rozdział 6. Jest to podsumowanie wraz z wnioskami, które podzielono na dwa typy, naukowe oraz technologiczne (użytkowe). Łącznie Autor sformułował 6 wniosków (trzy naukowe i trzy użytkowe). Są one merytoryczne i wynikają z przeprowadzonych badań oraz analiz. Rozdział 6 kończą kierunki dalszych działań, które opisano w dwóch punktach. Na stronach 171 i 172 przedstawiono protokoły z kwalifikowanej technologii spawania, gdzie jedną ze zmiennych zasadniczych jest przekuwanie spoiny o wysokiej częstotliwości (WPQR 84/F/2024; WPQR 85/F/2024). Przedstawione dokumenty są dowodem, że połączenie procesu przekuwania spoin o wysokiej częstotliwości z procesem spawania pozwala na uzyskanie wyników spełniających kryteria akceptacji normy PN-EN ISO 15614-1 i uzyskanie zatwierdzonej technologii spawania. Pracę zamyka literatura która składa się ze 101 pozycji polsko i angielskich. Jest różnorodna, zawiera zarówno aktualne artykuły naukowe, jak i inne wydawnictwa: książki i monografie. Doktorant jest współautorem 5 zacytowanych źródeł literaturowych [50], [52], [54], [57], [62]. Trzy publikacje to materiały konferencyjne, jedna w czasopiśmie *Materials* (Impact Factor: 3.1 (2023); 5-Year Impact Factor: 3.4 (2023), 140 punktów zgodnie z listą ministerialną na 2024 rok) oraz jedna w czasopiśmie *International Journal of Modern Manufacturing Technologies* (70 punktów zgodnie z listą ministerialną na 2024 rok). Współautorstwo świadczy o aktywności naukowej i publikacyjnej doktoranta, co jest wartością dodaną.

Po wykazie literatury autor przedstawia wykaz przywołanych norm w ilości 15 pozycji. Jedną z nich (15n) należy uznać za procedurę, tak też wskazuje jej nazwa „15n. *PB01 Procedura badania stanu naprężenia w elementach stalowych z wykorzystaniem efektu Barkhausena – Bolesław Augustyniak NNT*”. Przywołane normy związane są z charakterystyką materiałów podstawowych, wykonywanymi badaniami oraz procesami spawalniczymi.

Wykresy, rysunki oraz tabele są czytelne i poprawnie sformatowane, choć z pewnymi wyjątkami, które zostaną przywołane w uwagach do recenzowanej pracy. Pracę czyta się płynnie, pomimo niełatwej, skomplikowanej tematyki.

Ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowaną rozprawę oceniam bardzo wysoko. Jest ona niezwykle interesująca biorąc pod uwagę tematykę badawczą, ale też uwzględniając aspekty poznawcze oraz praktyczne. Moją wysoką ocenę wzmacnia fakt, że uzyskane wyniki badań, poparte wieloma złożonymi badaniami pozwoliły na wyciągnięcie wniosków, które wykorzystano do procesu

kwalfikowania technologii spawania za zastosowaniem przekuwania pneumatycznego o wysokiej częstotliwości zgodnie z wymaganiami normy EN ISO 15614-1. Proces ten został pozytywnie zweryfikowany i zaimplementowany w pracach przemysłowych.

Autor prawidłowo zdefiniował cele, a następnie realizował je w ramach opracowanego zakresu badań, który przedstawiono na rysunkach 24 i 25, strona 52. Pozwoliło to na uzyskanie wyników, które następnie poddano właściwej analizie merytorycznej. Na tej podstawie sformułowano odpowiednie wnioski naukowe i technologiczne.

Zastosowano standardowe i nowoczesne metody badawcze, co umożliwiło weryfikację postawionej tezy. Część związaną z przeglądem piśmiennictwa oceniam bardzo dobrze, jednak nasunęły mi się pewne spostrzeżenia. Uważam, że w tym rozdziale powinno być zamieszczone wprowadzenie do modelowania numerycznego MES wraz z całym podrozdziałem 3.7.3. *Modelowanie procesów spawania i procesów towarzyszących z wykorzystaniem MES*. Metody redukcji naprężeń i odkształceń spawalniczych zostały opisane poprawnie. Warto jednak było by w podrozdziale 2.4.2. (Obróbka cieplna) przywołać standardy, które pozwalają na dobór parametrów obróbki cieplnej np. PN-EN 13445-4, Tabela 10.1-1. Cały przegląd piśmiennictwa Autor kończy właściwym wnioskiem, który określa przydatność przekuwania o wysokiej częstotliwości HFMI jako metody alternatywnej dla obróbki cieplnej i pozwala na minimalizację oraz redukcję naprężeń i odkształceń spawalniczych. Rozdział 3 zawiera tezę pracy, cele, metody eksperymentalne, charakterystykę materiałów podstawowych i dodatkowych do spawania (S235JR, S355J2+N, S460NL, S690QL oraz S960QL), technologię wykonania złączy próbnych, proces przekuwania, pomiar z wykorzystaniem laser trackera, modelowanie MES. W tej części pracy moją uwagę zwrócił brak określenia numeru procesu spawania zgodnie z normą EN ISO 4063 dla złączy doczołowych ze spoiną czołową, co zostało zdefiniowane przy wykonaniu złączy teowych ze spoiną pachwinową jako proces 135. Można jednak po analizie zmiennych zasadniczych opisanych w tym podrozdziale wnioskować, że jest to również proces 135. Przedstawiony na stronie 58 sposób oznaczania próbek jest zrozumiały, jednak moim zdaniem, aby był bardziej informatywny, należało by zastosować opis tabelaryczny. Takie rozwiązanie zastosował Autor w podrozdziale 4.4 (4.4. Pomiar naprężeń z wykorzystaniem efektu Barkhausena). Po dokładnej analizie tej części stwierdzam, że jest ona poprawna. Kolejny rozdział związany z metodyką badań (Rozdział 4) pod względem merytorycznym oceniam bardzo dobrze. Doktorant w sposób wyczerpujący i jednocześnie zrozumiały wyjaśnia dość skomplikowane zagadnienia np. pomiar naprężeń z wykorzystaniem efektu Barkhausena, jakościową analizę fazową oraz pomiary naprężeń z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej czy analizę mikrostruktury z wykorzystaniem dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD. W kolejnym rozdziale (Rozdział 5) przedstawiono wyniki badań. Zakres badań dla złączy doczołowych ze spoiną czołową oraz złączy teowych ze spoiną pachwinową jest szeroki, co sprawia, że są one komplementarne. Jest to niewątpliwą zaletą recenzowanej dysertacji. Badania wykonano dla szerokiej gamy materiałów konstrukcyjnych, która odzwierciedla różne grupy materiałowe zgodne TR ISO 15608 (1.1, 1.2, 1.3, 3.1, 3.2) co umożliwia przeniesienie uzyskanych wyników badań na grunt rzeczywistych prac spawalniczych przy wytwarzaniu różnego rodzaju wyrobów. Warto również podkreślić, że wizualizacja uzyskanych wyników badań jest odpowiednia (wykresy, tabele, modele po analizie MES). Przedstawione wyniki badań mechanicznych nie budzą moich wątpliwości. Analizując recenzowaną pracę stwierdzam, że doktorant potrafi analizować uzyskane wyniki badań bazując na posiadanej wiedzy oraz doniesieniach naukowych. Przykładem jest wyjaśnienie

braku spełnienia kryterium wytrzymałościowego dla próbki wykonanej ze stali S690QL poddanej wyżarzaniu odprężającemu. Zgadzam się z opinią Autora, że jest to efektem nieodpowiednich parametrów obróbki cieplnej. Stale uzyskiwane na drodze ulepszania cieplnego wymagają bardzo skrupulatnej kontroli i małych odchyłek związanych z temperaturą wygrzewania, prędkością nagrzewania oraz stygnięcia. Badania metalograficzne makroskopowe i mikroskopowe zostały wykonane bardzo dobrze. Jakość zdjęć nie budzi zastrzeżeń i pozwala na dokładną analizę mikrostrukturalną. Analiza mikrostruktury próbek z wykorzystaniem dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD wykazały, że w udziale objętościowym spoiny znajduje się od 2 do 4% austenitu Fe- γ . Autor trafnie analizuje określa przyczynę, którą jest podwyższona zawartością niklu w zastosowanych materiałach dodatkowych do spawania. Interesującym z punktu widzenia uzyskanych wyników jest fakt, że analiza stanu odkształceń w zależności od zastosowanej konfiguracji spawania i procesów towarzyszących pokazuje przewagę zastosowania technologii międzyściegowego przekuwania HFMI nad PWHT w kontekście redukcji odkształceń w trakcie i po spawaniu. Jest to niezwykle cenna uwaga, ponieważ daje możliwość zastąpienia PWHT dla stali ulepszanych cieplnie przekuwaniem HFMI. Należy tu nadmienić że dobór parametrów obróbki cieplnej dla tej grupy stali jest trudny i często mało powtarzalny. Uzyskane wyniki stanu naprężeń pozwoliły stwierdzić, że w badanych próbkach zarówno w przypadku XRD jak i wykorzystania efektu Barkhausena, przekuwanie o wysokiej częstotliwości ma wpływ na redukcję naprężeń w stosunku do wyników naprężeń dla próbek w stanie po spawaniu. Jest bardzo trafne spostrzeżenie, które wprost wynika z przeprowadzonych badań. Autor zaobserwował również spójność różnic wyników przy porównaniu tendencji uzyskanych wartości i charakteru naprężeń przy pomiarze XRD oraz z wykorzystaniem efektu Barkhausena. To spostrzeżenie dotyczy zarówno obszaru lica spoiny jak i SWC. Całość uzupełniają wyniki modelowania numerycznego MES dla wybranych złączy spawanych. W przypadku recenzowanej pracy do najważniejszych dokonań Doktoranta można zaliczyć:

1. Określenie na podstawie badań naukowych przydatności procesu przekuwania o wysokiej częstotliwości HFMI do minimalizacji i redukcji naprężeń oraz odkształceń po procesie spawania.
2. Sformułowanie wniosków technologicznych (użytecznych) z podaniem optymalnych parametrów jej przeprowadzenia dla założonych zmiennych w eksperymencie.
3. Sformułowanie kierunków dalszych badań, które pozwolą na rozwinięcie przekuwania z wysoką częstotliwością HFMI.

Pomimo bardzo dobrego odbioru pracy oraz wysokiej oceny merytorycznej w wyniku jej dokładnej analizy nasunęły mi się pewne spostrzeżenia i uwagi, które przedstawiam poniżej.

Uwagi do recenzowanej rozprawy

1. Doktorant w pracy stosuje różnego rodzaju symbole oraz skróty np. HFMI, σ_x , σ_y , σ_z , $t_{8/5}$, CTPc-S i inne. Przyjęto się w tego rodzaju pracach zamieścić wykaz oznaczeń i skrótów. W recenzowanej pracy tego elementu zabrakło.
2. Strona 12. Rys. 1 przedstawia zmiany temperatury w funkcji czasu, czyli cykl cieplny spawania. Jak przywołany rysunek odnosi się do zdania do którego został przypisany? *„Po zakończeniu nagrzewania następuje faza stygnięcia, która wynika głównie z odprowadzania ciepła do otaczającego materiału o niższej temperaturze, aż do osiągnięcia równowagi termicznej złącza”*

3. Strona 16. Jest: Mf – temperaturę martenzyt finish – **początek** przemiany; powinno być **koniec** przemiany
4. Strona 18. Jest: Jak już wspomniano, temperatura podgrzewania do spawania ..., Powinno być: Jak już wspomniano, temperatura podgrzewania wstępnego do spawania
5. Strona 21. Jest: „*Naprężenia pierwszego rzędu można dalej klasyfikować w oparciu o liczbę zaangażowanych komponentów:*” Moim zdaniem w kontekście tego zdania jest to nietrafne sformułowanie. Naprężenia pierwszego rzędu można dalej klasyfikować w oparciu o liczbę występujących składowych naprężenia. Słowo komponent w tym sformułowaniu jest niewłaściwe.
6. Strona 25. Autor pisze: „*Poza klasyfikacją wynikającą z kierunku występowania, należy wyróżnić złożone postacie deformacji spawalniczych takich jak ..., i je wymienia.* Czy odkształcenie wzdłużne i odkształcenie poprzeczne są złożoną postacią deformacji, bo takie Doktorant również w tym punkcie przywołuje?
7. Strona 30. Wzory nie posiadają numerów identyfikacyjnych w tekście np. (1) itp. Nie wszystkie składowe wzoru mają przypisane jednostki.
8. Strona 51. Proszę o krótkie uzasadnienie wyboru grubości elementów z których wykonano złącza przeznaczone do badań.
9. Strona 51. Proszę o wyjaśnienie dla czego jedna grupa próbek została wykonana na stanowisku zrobotyzowanym, a druga na częściowo zrobotyzowanym.
10. Strona 56. Zastosowano inny rodzaj formatowania rysunku 26 w porównaniu do pozostałych.
11. Strona 58. Wyjaśnienie oznaczenia próbek w formie tekstowej jest mało czytelne i informatywne. Należałoby to wykonać w formie tabelarycznej.
12. Proces przekuwania próbek wykonywano ręcznie. Czy taka forma zapewniła odpowiednią powtarzalność procesu dla zaplanowanego eksperymentu?
13. Strona 70. Proszę o wyjaśnienia co było podstawą doboru parametrów obróbki cieplnej wytypowanych gatunków stali, dane literaturowe, normy?
14. Strona 110, 114. W tabelach związanych z wynikami badań zalecał bym wstawienie kolumny z podanymi kryteriami akceptacji dla badanych wielkości. Pozwoli to w prosty sposób odnieść uzyskane wyniki badań do kryterium akceptacji.
15. Strona 116. Autor wykonuje wykresy słupkowe, które przedstawiają wyniki badań. Są to średnie wartości. Czy w takim przypadku nie powinno podać się odchylenia standardowego. Pozwoliło by to na określenie zmienności tych wyników. Dotyczy to każdej badanej właściwości, która jest wartością średnią z kilku pomiarów.
16. Strona 124. Autor pisze: *Obserwacje na mikroskopie świetlnym, (Rys. 86-100) nie wykazały obecności niedopuszczalnych niezgodności na przekroju złączy spawanych.* Proszę o podanie jakich niezgodności spawalniczych nie zaobserwowano, a mogą być charakterystyczne dla zastosowanego procesu spawania.
17. Przy rysunku 6 nie podano źródła literaturowego.
18. W pracy słabo widoczne są opisy osi na rysunkach dyfraktogramów oraz zmian odległości międzypłaszczyznowej d refleksu (211) w funkcji $\sin^2\psi$
19. Rys. 40 nie jest wymieniony w tekście.
20. Tabela 34 nie jest wzmiankowana w tekście, tylko w podpisie rysunku 67.
21. Tabele 12÷26 są nazwane tablicami (strona 58). Jeżeli decydujemy się na jedną formę nazewnictwa to należy ją stosować stale.

22. „Rys. 151. Zakwalifikowana technologia spawania z ...” - podpis rysunku nie jest właściwy: to nie jest technologia tylko protokół kwalifikowania technologii, czyli zapis.

Przedstawione uwagi i spostrzeżenia nie obniżają bardzo wysokiej wartości merytorycznej recenzowanej rozprawy. Jej lektura oraz analiza dostarcza wielu ciekawych informacji. W mojej ocenie zaproponowane rozwiązanie minimalizacji oraz redukcji naprężeń spawalniczych jest bardzo perspektywiczne i może zastąpić proces PWHT np. dla stali ulepszonych cieplnie. Przywołane protokoły z kwalifikowanej technologii spawania WPQR 84/F/2024 oraz WPQR 85/F/2024 świadczą o tym, że badania naukowe zostały z sukcesem przeniesione na grunt przemysłowy.

Wniosek końcowy

Recenzowana praca doktorska Pana mgr. inż. Mateusza Przybyły pod tytułem „*Mechaniczna redukcja naprężeń i odkształceń spawalniczych w elementach ze stali konstrukcyjnych poprzez przekuwanie pneumatyczne o dużej częstotliwości*” wykonana pod opieką Promotora Pana dr. hab. inż. Jacka Górki, prof. PŚ jest niezwykle interesująca i w mojej ocenie stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe oraz technologiczne. Uważam, że zastosowana technologia przekuwania pneumatycznego o dużej częstotliwości jest dobrą alternatywą dla innych metod minimalizacji i redukcji naprężeń spawalniczych. Doktorant wykazał jest skuteczność, co zostało odzwierciedlone w zakwalifikowanej technologii spawania, gdzie jedną ze zmiennych zasadniczych jest przekuwanie. Postawiona teza została udowodniona poprzez wykonanie szerokiej gamy badań oraz właściwą i trafną analizę uzyskanych wyników. Doktorant udowodnił, że posiada umiejętności planowania badań, realizacji oraz analizowania i interpretowania uzyskanych wyników. Moim zdaniem wykazuje umiejętność formułowania odpowiednich wniosków, które oparte są o dowody naukowe. Na uwagę zasługuje również aktywność publikacyjna Doktoranta (również w czasopiśmie z listy JCR), co w przypadku doktoratów wdrożeniowych nie jest oczywiste.

Stwierdzam, że opiniowana praca doktorska spełnia w pełni wymagania Ustawy z dnia 20.07.2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z roku 2018 pozycja 1668) oraz wcześniejsze regulacje prawne (w szczególności Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku: tekst jednolity Dz. U. z 2016 r. poz. 882 ze zmianą: Dz. U. z 2016 r. poz. 1311). Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Materiałowej, Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Mateusza Przybyły do publicznej obrony w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Sporządził



dr hab. inż. Grzegorz Rogalski, prof. PG