

Prof. dr hab. inż. Tomasz Chmielewski
Instytut Technik Wytwarzania
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Warszawska
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa
e-mail: tomasz.chmielewski@pw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Mateusza Przybyły

pt.

„Mechaniczna redukcja naprężeń i odkształceń spawalniczych
w elementach ze stali konstrukcyjnych poprzez przekuwanie pneumatyczne o dużej
częstotliwości”

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria
Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 22 października 2024.

2. Tytuł rozprawy doktorskiej - aktualność podjętego tematu

Modyfikacja powierzchni poprzez obróbkę plastyczną stanowi aktualną
tematykę naukową z ważnym aspektem utylitarnym. Przekuwanie o wysokiej
częstotliwości złączy spawanych jest skuteczną metodą modyfikacji stanu naprężenia
oraz umacniania zgniotem z perspektywą dalszego rozwoju i w ten nurt pisuje się
tematyka rozprawy doktorskiej.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 08.01.2025
RDMa.110/51/2025
nr zał.



3. Charakterystyka i ocena rozprawy - ocena metodyczna (ocena układu rozprawy doktorskiej, ocena zastosowanego piśmiennictwa)

W swojej rozprawie doktorskiej Pan mgr inż. Mateusz Przybyła przeprowadził szeroką analizę stanu literatury w zakresie obróbki i zastosowania stali konstrukcyjnych, w tym spawalności stali, czynników technologicznych kształtujących stan naprężenia i odkształcenia złączy spawanych. Omówiono metody redukcji naprężeń i odkształceń spawalniczych oraz zasady ich stosowania. Drobiazgowo omówiono metodę przekuwania o wysokiej częstotliwości HFMI (ang. High Frequency Mechanical Impact) jako warunkową alternatywę obróbki cieplnej złączy spawanych.

Układ rozprawy doktorskiej jest klasyczny i ma prawidłową budowę. Rozprawa podzielona jest na 6 rozdziałów numerowanych i części nienumerowane jak: spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, załączone protokoły kwalifikowania technologii spawania, spis literatury, wykaz przywołanych norm.

Opracowanie liczy 187 stron. Spis literatury obejmuje 101 pozycji. Przegląd piśmiennictwa jest wykonany starannie. Cytowane pozycje literaturowe są aktualne i obejmują artykuły z czasopism naukowych, standardy, materiały konferencyjne i opracowania książkowe. Większość pozycji literaturowych stanowią aktualne publikacje z międzynarodowego obiegu literatury, w tym spis zawiera pięć współautorskich publikacji naukowych Doktorantka ściśle powiązanych z zakresem doktoratu. W rozprawie można zauważyć racjonalne zaplanowanie eksperymentu i prawidłowy dobór metod badawczych.

W rozdziale 1. Autor umieścił wstęp do rozprawy.

Rozdział 2. Przedstawia przegląd piśmiennictwa i stan zagadnienia w zakresie: spawalności stali konstrukcyjnych, naprężeń w połączeniach spawanych, odkształceń połączeń spawanych, czynników kształtujących stan naprężeń i odkształceń spawalniczych takich jak, projektowanie konstrukcji i technologii, technika spawania,

proces spawania. Następnie, omówiono mechaniczne i cieplne metody redukcji naprężeń i odkształceń spawalniczych.

Rozdział 3. otwiera prace własne Doktoranta.

W podrozdziałach kolejno przedstawiono szeroki zakres i program badań, w tym:

- Tezę w brzmieniu *„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”*.
- Cele naukowe pracy obejmujące:
 - określenie wpływu procesu przekuwania HFMI na strukturę i właściwości mechaniczne złączy spawanych szerokiej grupy stali konstrukcyjnych;
 - określenie wpływu procesu przekuwania HFMI na stan naprężeń złączy spawanych;
 - określenie wpływu procesu HFMI na stan odkształcenia złączy spawanych.
- Cele technologiczne w zakresie:
 - opracowania parametrów procesu przekuwania międzyścigowego i po spawaniu;
 - określenie wpływu przekuwania o wysokiej częstotliwości na możliwość kwalifikowania technologii spawania;
 - opracowanie technologii procesu przekuwania mającego w przyszłości stanowić know-how firmy FAMET S.A.
- Omówiono i przedstawiono na schematach blokowych program badań dla złączy doczołowych i teowych.
- Scharakteryzowano materiały zastosowane w badaniach.
- Opisano warunki spawania, przekuwania i obróbki cieplnej doczołowych złączy próbnych.
- Scharakteryzowano warunki spawania i przekuwania złączy teowych.

- Opisano rezultaty pomiarów laserowych geometrii złączy po wszystkich etapach obróbki.
- Przedstawiono rezultaty modelowania procesów spawania i procesów dodatkowych z wykorzystaniem MES.

W rozdziale 4. opisano metodykę badań w tym:

- Testy zgodne z warunkami kwalifikowania technologii spawania wg PN-EN ISO 15614-1:2017.
- Badania metalograficzne na mikroskopie świetlnym.
- Analizę mikrostruktury z wykorzystaniem dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD.
- Pomiar naprężeń z wykorzystaniem efektu Barkhausena.
- Jakościowa analiza fazowa oraz pomiar naprężeń z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej.

Rozdział 5. Prezentuje wyniki badań, w tym:

- Właściwości mechaniczne złączy spawanych scharakteryzowane w próbie statycznego rozciągania, próbie zginania, w testach udarności, pomiarach twardości.
- Mikrostruktura spawanych złączy doczołowych scharakteryzowana przy użyciu mikroskopii świetlnej, z wykorzystaniem dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD.
- Analiza składu fazowego oraz pomiar naprężenia w wykorzystaniem dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego w złączach doczołowych.
- Pomiar stanu naprężenia z wykorzystaniem efektu Barkhausena w złączach doczołowych.
- Laserowe pomiary odkształcenia złączy teowych.
- Modelowanie i symulacja stanu odkształcenia MES dla wybranych złączy spawanych.

W rozdziale 6. Autor podsumowuje badania i stawia wnioski.

4. Najważniejsze uwagi ogólne i szczegółowe

Koncepcja badań doświadczalnych została sformułowana przez Doktorantkę poprawnie. Realizację badań oceniam pozytywnie. Eksperymentalna część rozprawy jest przejrzysta, lecz nie jest wolna od niedoskonałości, jednak zawiera szereg wartościowych wyników i informacji naukowych i praktycznych. Doceniam trafnie przyjęty zakres eksperymentu oraz dużą liczbę przeprowadzonych badań. Forma prezentowania wyników jest właściwa.

Generalnie, praca napisana jest dobrym językiem. Autor nie uniknął jednak drobnych błędów redakcyjnych i językowych (uwagi redakcyjne zaznaczyłem w treści rozprawy i przekazałem autorowi) oraz niestety merytorycznych, np.:

1. Brak jest rozwinięcia kilku skrótów podczas ich pierwszego użycia w treści pracy, np. GMAW, HFMI.
2. Autor błędnie utożsamia badania z pomiarem (str. 5), np. używa określenia badanie udarności, którego właściwe znaczenie nie pasuje do kontekstu tej pracy.
3. Błędnie utożsamiano energię liniową z ilością wprowadzonego ciepła i określenia te stosowano wymiennie, nie bez winy jest tu błędne tłumaczenia normy na język polski i ten grzech pierworodny towarzyszy wielu opracowaniom spawalniczym. Ciepło to ta część energii wewnętrznej, którą obiekt o wyższej energii przekazuje temu o niższej. Jednostką ciepła, tak jak każdego rodzaju energii, w układzie SI jest dżul (J). Ilość wprowadzonego ciepła można wyrazić w dżulach. „Energia liniowa spawania”, opisuje, ile energii skonsumowano na długość spoiny i ma wymiar J/m.
4. Nieuzasadnione użycie określenia optymalizacja.
5. Zastosowane gatunki spoiwa identyfikowano wyłącznie oznaczeniami handlowymi (które nie są standardami) bez odniesień do norm przedmiotowych.
6. Odległość końcówki prądowej uchwytu elektrodowego błędnie utożsamiano z wolnym wylotem drutu elektrodowego.

Poniżej wymieniono uwagi o charakterze dyskusyjnym z prośbą do Autora rozprawy o ustosunkowanie się:

1. Na stronie 47 Autor stwierdził, że wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę materiału poddanego temu procesowi jest niemal zerowy. Proszę o rozwinięcie tej dyskusyjnej tezy.
2. W grupie celów technologicznych wskazano wyznaczenie optymalnych parametrów procesu przekuwania międzysciegowego i po spawaniu. Jakie przyjęto kryteria optymalizacji.
3. Ręczne spawanie złączy teowych nie zapewnia należytego poziomu powtarzalności procesu z punktu widzenia badań naukowych. Nie jest możliwe odtworzenie eksperymentu, a właściwości złączy i wyniki pomiarów właściwości fizycznych złączy mogą być losowe, a przez to statystycznie niewiarygodne, pomimo deklarowanej fachowości spawacza. Podczas ręcznego spawania fluktuują wartości parametrów procesu spawania kształtujących cykl cieplny (np. prędkość spawania, odległość uchwytu elektrodowego od powierzchni przedmiotu obrabianego, orientacja uchwytu elektrodowego, nieliniowa/losowa trajektoria spawania).
4. Złącza spawane wykazują znaczną zmienność w zakresie geometrii, właściwości mechanicznych i metalograficznych, co powoduje konieczność wykonywania pomiarów wielkości fizycznych na dostatecznie dużej próbie statystycznej, umożliwiającej określenie wartości średniej i odchylenia standardowego.

W przypadku pomiarów twardości, wytrzymałości na rozciąganie i udarności, które z natury charakteryzujących się wyraźną zmiennością wyników, testy wykonano na niskich próbach od 1 do 3 pomiarów na punkt. Proszę o ustosunkowanie się autora.

5. W kontekście uzyskanych wyników wydaje się, że doktorant błędnie artykułuje w drugim wniosku naukowym (str. 168), że zastosowana obróbka przekuwaniem obniża stan naprężenia w złączach spawanych, jej pozytywny

wpływ polega na odwróceniu biegunów naprężenia, a rejestrowane po obróbce wartości naprężenia są zbliżone do stanu wyjściowego.

5. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Mateusza Przybyły nt. „Mechaniczna redukcja naprężeń i odkształceń spawalniczych w elementach ze stali konstrukcyjnych poprzez przekuwanie pneumatyczne o dużej częstotliwości” jest interesującą dysertacją o aktualnej tematyce. Praca doktorska reprezentuje dyscyplinę naukową inżynieria materiałowa.

Niepodważalnym walorem i oryginalnym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie warunków procesu pneumatycznego przekuwania z dużą częstotliwością złączy spawanych o określonej geometrii oraz dowiedzenie, że proces ten istotnie wnosi do stanu naprężenia złączy spawanych.

Podjęty w rozprawie temat jest ważny i wnosi wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa, a dodatkowo uwiarygadnia i legitymizuje tę metodę obróbki w kontekście wymagań systemu zapewnienia jakości w spawaniu w kwestii kwalifikowania technologii spawania.

Doktorant wykonał badania w warunkach przemysłowych i laboratoryjnych, a opracowaną technologię wdrożono do przemysłu. Pozyskana nowa wiedza pozytywnie rozwija stan techniki w zakresie przemysłu metalowego.

Doktorant wykazał się umiejętnością planowania i wykonywania badań oraz analizy merytorycznej uzyskanych wyników.

Autor dowiódł poprawności postawionej tezy i osiągnął cele naukowe i technologiczne pracy. Całość recenzowanej rozprawy w pełni potwierdza wystarczającą wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz umiejętność prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta uważam:

1. Opisanie i wyjaśnienie wpływu procesu przekuwania o wysokiej częstotliwości na uzyskanie korzystnego stanu naprężenia w złączy, korzystnego wpływu na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne złączy spawanych kilku gatunków stali konstrukcyjnej. Potwierdzenie pozytywnego wpływu na właściwości wytrzymałościowe przy nieznacznym pogorszeniu plastyczności materiału złączy spawanych w stosunku do złączy obrabianych cieplnie.
2. Określenie dalszych kierunków badań m.in. mających na celu wyjaśnienia zaobserwowanego wpływu przekuwania na rozkład twardości głęboko w grani spoiny.

Uważam, że recenzowana rozprawa prezentuje wysoki poziom merytoryczny, zawiera element nowości i wnosi wkład do dyskusji nad rozwojem techniki modyfikacji powierzchni i stanu naprężenia złączy spawanych.

Ponadto stwierdzam, że Autor wykazał się wystarczającą wiedzą, umiejętnością planowania i realizacji badawczych prac naukowych, umiejętnością oceny i interpretacji uzyskanych wyników.

Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. 24.10.2024 r. poz. 1571, Art. 187 i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.



Warszawa, 22 grudnia 2024 r