

dr hab. inż. Piotr Kowalewski, prof. PWr
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych
50-371 Wrocław, ul. Łukasiewicza 5

Wrocław, 27.12.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Chyły
pt. *Wykorzystanie metody FSW w łączeniu komponentów metalowych struktur foteli samochodowych.*

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Gaska

Recenzja została opracowana na prośbę dr. hab. inż. Alicji Piaseckiej-Belkhat, prof. PŚ, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej (nr pisma RDJMe.512.6.2024 sygn. RDJMe/230/51/2024 z dnia 23.10.2024)

1. TYTUŁ PRACY

Tytuł rozprawy: „*Wykorzystanie metody FSW w łączeniu komponentów metalowych struktur foteli samochodowych*” wg recenzenta poprawnie określa zagadnienia opisane w pracy. Przedstawione w pracy badania, wyniki jak i przegląd literatury odnoszą się bezpośrednio do tematu pracy, chociaż tytuł nie informuje o badawczym charakterze doktoratu.

2. OCENA PODJĘTEGO TEMATU

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. „*Wykorzystanie metody FSW w łączeniu komponentów metalowych struktur foteli samochodowych*” podejmuje ważne zagadnienia z związane z rozwojem nowoczesnych, wydajnych energetycznie technologii łączenia elementów metalowych. Temat podjęty przez doktoranta jest interesujący i aktualny, szczególnie w kontekście rosnących wymagań dotyczących wytrzymałości, lekkości i bezpieczeństwa komponentów w przemyśle motoryzacyjnym. Metoda Friction Stir Welding (FSW) stanowi nowoczesne podejście do łączenia metali, zwłaszcza tych trudno spawalnych, takich jak stopy aluminium, które są szeroko stosowane w strukturach nośnych wykorzystywanych w branży „automotive”. Temat pracy doktorskiej wyróżnia się dużym potencjałem praktycznym, ponieważ jego wyniki mogą znaleźć bezpośrednie zastosowanie w projektowaniu i optymalizacji struktur siedzeń samochodowych. Podjęcie przez doktoranta tytułowego zagadnienia oceniam jako ambitne i potrzebne.

3. CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA PRACY

Praca przedstawiona do recenzji liczy łącznie 148 stron i obejmuje: stronę tytułową, spis treści (1 strona), dwustronicowe streszczenie (po polsku i angielsku), siedem rozdziałów merytorycznych (w tym wstęp) oraz cztery rozdziały dodatkowe (literatura, spis tabel, spis rys. i załączniki). Należy zwrócić uwagę, że spis treści nie odpowiada rzeczywistej zawartości pracy. Numeracja i nazwy rozdziałów są różne w pracy i spisie treści, co utrudnia całościowy ogląd dzieła. Należy zwrócić również uwagę na to, że załączniki i literatura stanowią ponad 40% objętości pracy (60 stron).

Biuro Dziekana

4. PROBLEM BADAWCZY I CELE PRACY

W recenzowanej pracy zdefiniowano problem badawczy i cele użyteczne, zostały one opisane w rozdziale 3. Wg autora: „Problemem badawczym dotyczy uzyskania efektywności złącza na poziomie co najmniej 70%.”

Poza problemem, doktorant również zdefiniował dwa cele badawcze:

1. Wzrost efektywności procesu spajania elementów metalowych struktur foteli samochodowych, poprzez zastąpienie aktualnego procesu nową metodą zgrzewania aluminium (zgrzewanie tarciove z przemieszczaniem materiału). Aktualne metody to spawanie MAG, TIG.
2. Zaprojektowanie autorskich narzędzi do zgrzewania FSW (stal Vanadis 23) oraz analiza wpływu kąta przyłożenia kołnierza narzędzia na jakość spoiny.

Celami użytecznymi jakie zdefiniował autor są:

1. Dobór odpowiednich parametrów procesu zgrzewania tarciovego z przemieszczaniem materiału (prędkość zgrzewania oraz prędkość obrotowa narzędzia), aby uzyskać zadowalające właściwości mechaniczne złącza.
2. Analiza wpływu kąta przyłożenia kołnierza narzędzia roboczego na jakość spoiny.

Należy zauważyć, że autor nie zdefiniował żadnej tezy ani celów naukowych.

5. ZAKRES PRACY

Praca swoim zakresem obejmuje bardzo konkretne zagadnienie związane z badaniem wpływu najważniejszych parametrów procesu zgrzewania tarciovego na jakość powstającego połączenia. Parametry technologiczne wzięte do oceny to: prędkość obrotowa narzędzia i prędkość zgrzewania (posuwu). Zmienny był również kształt narzędzia. Natomiast ocenę jakości połączenia wykonano na podstawie wytrzymałości na rozciąganie, twardości, chropowatości, badań metalograficznych i radiologicznych powstałego połączenia.

W części merytorycznej poza wstępem znajdują się rozdziały poświęcone przeglądowi literatury, zdefiniowaniu problemu badawczego, metodyce badawczej, przedstawieniu i omówieniu wyników badań oraz dwa rozdziały dotyczące dyskusji nad wynikami oraz podsumowujące wyniki wraz z wnioskami.

Rozdział pierwszy – *Wstęp* opisuje ogólnie podjęte zagadnienie i uzasadnia potrzebę jego realizacji. Autor naświetla również zakres podjętych prac badawczych i zastosowanych technik pomiarowych.

Zakres przeprowadzonego *przeglądu literatury* (rozdział drugi) jest w mojej opinii powierzchowny. Przegląd literatury opracowany przez doktoranta koncentruje się na podstawowych zagadnieniach związanych z procesem FSW. Autor w sposób zwięzły opisuje kluczowe aspekty, takie jak zasady działania procesu, jego zalety i wady, a także właściwości stopów aluminium oraz inne metody łączenia tego materiału. Zaprezentowana wiedza opiera się głównie na podstawowych źródłach literaturowych. Przegląd nie dotyczy kluczowych

aspektów związanych z defektami występującymi w złączach i zależności ich występowania od parametrów technologicznych, a które można odnaleźć w publikacjach.

W dalszej części pracy autor próbuje definiować problem badawczy i cele pracy. Rozdział trzeci o nazwie: *Problem badawczy i zakres pracy* zawiera informacje (w kolejności) o celu utylitarnym, problemie badawczym, istocie badań i celach badawczych. Odnoszę wrażenie chaotyczności zdefiniowanych problemów i postawionych celów. W mojej opinii najważniejszy jest cel naukowy pracy, który w ogóle nie został postawiony, a dopiero w dalszej kolejności cele badawcze i utylitarne, czego brakuje w recenzowanej pracy. W rozdziale tym pojawia się również „*Układ logiczny pracy*” który jest skróconym spisem treści z rozwinięciem punktu „*przegląd literatury*”.

W rozdziale czwartym pt. *Metodyka badawcza*, autor opisuje zastosowane metody badawcze, a w poszczególnych podrozdziałach opisuje szczegóły danej techniki badawczej oraz cechy materiałowe narzędzia oraz materiału łączonego. Rozdział ten podaje niezbędne minimum danych bez rozwinięcia. Brakuje w nim uzasadnienia dlaczego zastosowano daną metodę badawczą i przyjęto zadane parametry pomiarowe. Na końcu rozdziału znajduje się rysunek 4.5 przedstawiający niezrozumiałą „agendę badawczą” w postaci schematu blokowego. W mojej opinii lepsze miejsce na tego typu schemat byłoby w rozdziale dotyczącym planu badań (rozdział 3).

Trzon pracy stanowią wynik badań, które zawierają bardzo dużą ilość danych dotyczących wytrzymałości złącza, jego twardości, struktury i defektów. Wyniki badań poza przedstawionymi w rozdziale pt. *Wyniki badań* są zawarte w bardzo obszernych (48 stron) załącznikach umieszczonych na końcu pracy. Jakość przedstawionych wyników w postaci tabel i wykresów jest bardzo słaba poprzez nieczytelnie sformatowanie. Na wykresach bardzo często brakuje legend, a wartości w tabelach są przenoszone do następnych wierszy. Przykładem niech będzie tabela 5.4 która zajmuje 13 stron i zawiera 12 mniejszych tabel i 12 wykresów.

Najistotniejszą częścią pracy w mojej opinii jest rozdział szósty – *Dyskusja otrzymanych wyników*. Rozdział ten wykazuje naukowy charakter pracy. Podjęta jest dyskusja, która odnosi uzyskane wyniki do badań dostępnych w literaturze. Autor próbuje dociekać przyczyn zmian w wytrzymałości złącza i wpływu parametrów kinematycznych jak prędkość obrotowa i prędkość zgrzewania. Wysunięte przez doktoranta wnioski są w mojej opinii słuszne i prawidłowe pod względem logicznym.

W rozdziale *Podsumowanie i wnioski końcowe* doktorant stara się w sposób zwięzły podsumować uzyskane wyniki i dopasować je do postawionych celów. Wnioski są prawidłowe i dosyć dobrze uzasadniają sens prac badawczych, które zostały wykonane.

Spis literatury zawarty w kolejnym rozdziale obejmuje łącznie 71 pozycji głównie artykułów naukowych. Jakość cytowanych źródeł nie budzi wątpliwości nie mniej jednak ich ilość wydaje się dość mała jak na podjęte zagadnienie badawcze.

W dalszej części znajdują się dwa rozdziały numerowane (spis literatury był nienumerowany): rozdział 8. *Spis tabel* i rozdział 9. *Spis rysunków*. Rozprawę kończą *Załączniki* (60 stron) zawierające 2 tabele.

6. UKŁAD I REDAKCJA PRACY

Treść rozprawy doktorskiej została przygotowana w sposób charakterystyczny dla tego typu pracy kwalifikacyjnej, obejmując: wstęp wraz z określeniem celu i zakresu badań, przegląd literatury w zakresie podjętej tematyki, metodologię badawczą, wyniki badań wraz z dyskusją oraz wnioski.

Dużym mankamentem jest niekonsekwencja i błędy w numerowaniu rozdziałów. *Wstęp* jest rozdziałem nienumerowanym podobnie jak *Literatura* mimo, że znajduje się pomiędzy rozdziałami numerowanymi. Numerowane za to są jako rozdziały *Spis tabel* i *Spis rysunków*. Równowagę pracy zakłóca przytłaczający swoją wielkością załącznik (48 stron), który tak naprawdę nie wnosi niczego ważnego do pracy. Kilka tysięcy wartości twardości spoiny zostało już przedstawione w postaci kilkudziesięciu wykresów w treści pracy.

W mojej opinii brakuje krótkich podsumowań pod najważniejszymi rozdziałami takimi jak *przegląd literatury* i *wyniki z poszczególnych badań*. Takie podsumowania wprowadziłyby narrację do pracy, której praktycznie nie ma. Przez to odbiera się rozprawę jako zbiór odosobnionych rozdziałów.

Opracowanie redakcyjne rozprawy doktorskiej oceniam jako bardzo złe. Z łatwością można doszukać się błędów edytorskich, rysunkowych i stylistycznych. Powodują one bardzo zły odbiór pracy mimo zalet merytorycznych. Dokładniejszy opis błędów wskazuję w *uwagach szczegółowych* (rozdział ósmy) niniejszej recenzji.

7. OCENA I UWAGI MERYTORYCZNE

Po przeczytaniu recenzowanej rozprawy doktorskiej sformułowane zostały najważniejsze wątpliwości dotyczące zagadnień merytorycznych. Mają one charakter uwag ogólnych jak również zapytań wymagających odpowiedzi. Zostały one przedstawione poniżej.

1. W pracy brak jest jakiegokolwiek analizy statystycznej. Przedstawione wyniki czasami zawierają słupki błędu czasami nie. Kompletnie brakuje informacji na temat w jaki sposób były wyznaczane błędy zaznaczone na wykresach i zamieszczone w tabelach. W jaki sposób otrzymane z pomiarów dane były obrabiane statystycznie? Dla tego typu pracy niezbędne jest odniesienie się do wartości błędów wykonywanych pomiarów gdyż może mieć to decydujący wpływ na ich interpretację.
2. Autor w pracy jako jeden z podstawowych parametrów procesu zgrzewania określił prędkość obrotową. W procesach tribologicznych duże większe znaczenie ma prędkość poślizgu – prędkość liniowa. Niestety w pracy nigdzie nie znalazł informacji na temat występującej maksymalnej, dla danej średnicy narzędzia, prędkości poślizgu. Wyznaczanie takiej wartości jest niezbędne w celu analizy zjawisk związanych z tarcieniem i wytwarzaniem ciepła, które powoduje uplastycznienie i roztopienie materiału łączonego. Dobrze byłoby wyznaczyć tę wartość i odnieść ją do wyników innych badań tribologicznych gdzie badano wpływ prędkości poślizgu na procesy tarcia. Opisywanie procesu zgrzewania wykorzystując maksymalną prędkość poślizgu, a nie prędkość obrotową ułatwiłoby również podejście energetyczne do rozważania zjawisk podczas zgrzewania.

3. *Przegląd literatury* przedstawiony przez doktoranta dotyczy bardzo podstawowych zagadnień. Autor w sposób zwięzły opisuje podstawy procesu FSW, jego wady i zalety, właściwości stopów aluminium oraz inne metody łączenia tego materiału. Przedstawiona wiedza opiera się głównie na literaturze podstawowej i ogólnodostępnych źródłach technicznych. W mojej opinii brakuje odniesienia do najnowszych artykułów naukowych dotyczących badań nad wpływem różnych parametrów procesu FSW na jakość wykonywanych połączeń. W pracy doktorskiej należałoby uwzględnić najnowsze publikacje związane z tymi zagadnieniami, zidentyfikować lukę badawczą oraz na jej podstawie sformułować tezy naukowe. Odwołania do literatury pojawiają się dopiero w rozdziale pt. *Dyskusja otrzymanych wyników*, który mimo, że stanowi kluczową część pracy, jest stosunkowo zwięzły.
4. Przedstawiony problem badawczy i zakres pracy budzi liczne wątpliwości. Cele badawcze są tak naprawdę celami utylitarnymi nie naukowymi. Zaprojektowanie autorskich narzędzia, oraz wzrost efektywności procesu spajania nie są w mojej opinii celami badawczymi. Wynika to prawdopodobnie z nierozróżnienia przez autora pojęcia „*badania naukowych*” z pojęciem „*badania przemysłowych*”. Przed opisem wykonanych badań brak jest zdefiniowania jakiegokolwiek tezy naukowej. „*Efekty w wymiarze naukowym*” pojawiają się dopiero w ostatnim rozdziale pt. *Podsumowanie i wnioski końcowe*. Przetawione wnioski są jednak zbiorem odosobnionych stwierdzeń wysuniętych na podstawie wyników z poszczególnych badań.
5. Po zdefiniowaniu problemu badawczego autor przechodzi do opisu metodyki badawczej i wyników badań. W pracy występuje całkowity brak uzasadnienia dlaczego wykorzystano takie, a nie inne metody badawcze. W mojej opinii w pracy wyraźnie brakuje podstawowych badań tribologicznych dla pary trącej: materiał narzędzia-materiał łączony. Uzyskanie wyników w postaci charakterystyk współczynnika tarcia w zakresie odpowiadającym występującym parametrom kinematycznym pozwoliło by na naukowe wyjaśnienie zjawisk związanych z ilością wydzielanego ciepła i zbudowanie modelu matematycznego.
6. Poza brakiem uzasadnienia dotyczącego metody badawczej występują również braki związane z uzasadnieniem doboru materiałów na elementy łączone i narzędzie, parametrów technologicznych i przyjętego kształtu narzędzia. W pracy naukowej każda z tych wielkości powinna być dobrana pod kontem postawionego celu i tezy.
7. Czym autor tłumaczy uzyskanie największej wytrzymałości przenoszanej przez złącze (ponad 4.8 kN) z pośród badanych, przy zastosowaniu prędkości zgrzewania (posuwu) 70 mm/min i prędkości obrotowej 1400 obr/min (rysunek 5. 5). Tak znaczny wzrost wytrzymałości zasługuje na zbadanie i wyjaśnienie, tymczasem w pracy nie znalazłem żadnego wytłumaczenie tego fenomenu. Co ciekawe wyniki badań radiograficznych (rozdział 5.4) wg opisu w tabeli 5.24 wykazały dla prędkości 1400 obr/min „liczne kraterory oraz pustki wewnątrz spoiny”. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób te defekty wpłynęły na zwiększenie wytrzymałości złącza?
8. W tabeli 5.24 przedstawiającej zdjęcia rentgenowskie wraz z opisami wskazano obecność kraterów oraz pustek (1200 i 1400 obr/min) natomiast na zdjęciach są one niewidoczne. Proszę o wyjaśnienie czy jest to błąd edytorski lub zaznaczenie w odpowiedzi na recenzję kraterów i pustek na zdjęciach.

9. Proszę o uzasadnienie w jakim celu badano twardość na części chwytowej narzędzia? Wyniki tych pomiarów stanowią bardzo dużą część pracy.
10. W pracy znajdują się zdjęcia aparatury badawczej i narzędzi które nie wnoszą niczego do wartości naukowej pracy. Np. rys. 4.1, rys. 4.2, rys. 4.6. Fotografie te nie ukazują istotnych, z punktu widzenia przeprowadzonych badań, informacji.

8. UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Należy stwierdzić, że strona edytorska pracy jest na bardzo niskim poziomie. Błędy w praktycznie każdym obszarze są wszechobecne i w znaczący sposób obniżają wartość pracy, a wręcz powodują irytację u czytającego. Dla pracy na poziomie rozprawy doktorskiej poziom edytorski powinien być znacznie wyższy. W mojej opinii zabrakło kilku godzin pracy z tekstem, które wyeliminowałyby rażące błędy widoczne nawet dla niewprawnego oka czytającego. Wszystkich błędów nie sposób wskazać. Poniżej zamieściłem najbardziej rażące przykłady.

- Niezgodność spisu treści z treścią pracy w zakresie nazw rozdziałów i ich numeracji,
- Pojawiające się przypadkowo znaki interpunkcyjne (np. str. 26 – 3. linijka pod tabelą, str. 27 – 3. linijka od dołu),
- Licznie występujące skróty frazeologiczne, np. „próbki FSW” (str. 26.),
- Wartości zmiennoprzecinkowe są pisane raz po przecinku, raz po kropce, nawet w zakresie jednej tabeli (np. tab. 5.1),
- Brak słupków błędów na wykresach (np. rys. 5.5, rys. 5.6, rys. 5.7, rys. 5.8),
- Błędy w oznaczeniach jednostek np. „Mpa” – np. tabele 6.1, 5.2, 5.3, 6.1,
- Brak spacji między wartością, a jednostką,
- W listach punktowaniach na końcach wierszy pojawiają się przecinki, kropki lub nic nie występuje (np. tab. 2.2, s. 29.),
- Autor w pracy używa pleonastycznej konstrukcji „najbardziej optymalny” (s. 86),
- Symbole wielkości fizycznych powinny być pisane kursywą,
- Symbol stopnia „°” zastępowany jest potęgą o wartości zero (np. s. 27, s. 86).

W pracy występują podstawowe błędy rysunkowe takie jak: wpisywanie jednostek na wymiarach, brak osi symetrii, nieprawidłowe obracanie tekstu wymiarowego, brak symboli geometrycznych dla wymiarów, niestosowanie różnej grubości linii. Dotyczy to rysunków nr 4.4, 4.7, 4.8, 4.11.

9. WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana rozprawa doktorska pt. *Wykorzystanie metody FSW w łączeniu komponentów metalowych struktur foteli samochodowych*, **jest aktualnym i interesującym opracowaniem doktoranta** dotyczącym oceny własności złącz zgrzewanych tarciovo w zależności od parametrów technologicznych procesu. Materiał badawczy zawarty w pracy **jest oryginalnym dorobkiem doktoranta**, zarówno poznawczym jak i użytkowym, który wpisuje się w zakres dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Przedstawione w pracy informacje, badania i analizy w zakresie podejmowanej tematyki wskazują, że **mgr inż. Krzysztof Chyła orientuje się w literaturze przedmiotu oraz posiada**

wiedzę w tym obszarze. Zakres badań jest uzasadniony z naukowego punktu widzenia, jednak jego zróżnicowanie utrudnia wyrazistą interpretację i odniesienie się do postawionego problemu. Niemniej jednak uzyskane wyniki stanowią wartość dodaną szczególnie dla rozwijającej się dynamicznie technologii łączenia materiałów z wykorzystaniem tarcia. Stanowią również przyczynek do ich kontynuowania i rozszerzania w przyszłości.

Na podstawie przedstawionej recenzji **stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Chyły pt. *Wykorzystanie metody FSW w łączeniu komponentów metalowych struktur foteli samochodowych*, spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i proponuję Radzie Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej dopuszczenie mgr. inż. Krzysztofa Chyły do publicznej obrony, a po jej pozytywnym przebiegu o nadanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.**

