



Dr hab. inż. Cezary Rapiejko, prof. uczelni

cezary.rapiejko@p.lodz.pl

Politechnika Łódzka

Wydział Mechaniczny

Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji

RECENZJA
rozprawy doktorskiej

mgr inż. Tomasza Buckiego, zatytułowanej

***„Zastosowanie metody odlewniczej do łączenia stopów magnezu
ze stopami aluminium z krzemem”***

Promotor dr hab. inż. Marek Konieczny, prof. PŚk

wykonana na zlecenie Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria
Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach

ŁÓDŹ, wrzesień 2021

Dr hab. inż. Cezary Rapiejko, prof. uczelni.
Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Materiałowych
i Systemów Produkcji

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Tomasza Buckiego**, zatytułowanej
*„Zastosowanie metody odlewniczej do łączenia stopów magnezu ze stopami aluminium
z krzemem”*

Promotor dr hab. inż. Marek Konieczny, prof. PŚk

wykonana na zlecenie Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach

1. Charakterystyka ogólna pracy

W ostatnich latach w szczególności w Unii Europejskiej (UE) prowadzona jest ambitna polityka klimatyczna mająca na celu ochronę środowiska na drodze redukcji emisji CO₂, która ma pozwolić uzyskać przez UE neutralności klimatycznej do 2050 roku. Działania proekologiczne dotyczą przede wszystkim obszarów energetyki oraz transportu. W zakresie transportu drogowego szacuje się, że samochody osobowe i dostawcze wytwarzają około 15% emisji CO₂ w UE, co jest powodem, że producenci samochodów opracowują nowe konstrukcje silników w oparciu o zwiększenie momentu obrotowego stosując turbodoładowania oraz nowoczesne technologie wtrysku paliwa. Drugim kluczowym zagadnieniem konstrukcyjnym jest redukcja całkowitej masy pojazdów, polegającej na zastępowaniu materiałów o dużej gęstości na rzecz materiałów lekkich. Najczęściej stosowane materiały konstrukcyjne w pojazdach oraz statkach powietrznych to m.in. stal, żeliwo, stopy lekkie o osnowie aluminium oraz coraz częściej stopy magnezu. Biorąc pod uwagę niską gęstość magnezu i jego stopów, materiały te znajdują coraz częściej zastosowanie do produkcji części pojazdów samochodowych oraz statków powietrznych. Niestety części wykonane ze stopów magnezu charakteryzują się gorszymi właściwościami mechanicznymi oraz ograniczonym

zakresem temperatur pracy, co wpływa na ich ograniczone zastosowanie. Badania prowadzone w kierunku szerszego zastosowania stopów magnezu są przyszłościowymi, stąd recenzowana praca wpisuje się w tematykę współczesnych badań, a dotyczy zagadnień związanych wytwarzaniem połączeń pomiędzy stopami magnezu a stopami aluminium, poszerzając możliwości aplikacyjne stopów magnezu, jednocześnie dążąc do redukcji masy całkowitej pojazdów.

Autor w swojej pracy przeprowadził badania związane z możliwościami wytworzenia połączeń przy użyciu metody odlewniczej pomiędzy technicznie czystymi metalami magnezem i aluminium oraz połączenia pomiędzy stopami tych metali.

Przedstawioną problematykę recenzowanej dysertacji należy uznać jako trafną zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i użytecznego ze względu na możliwości zastosowania wyników badań Autora do wytwarzania lekkich części pojazdów samochodowych jak i statków powietrznych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Tomasza Buckiego zatytułowana „Zastosowanie metody odlewniczej do łączenia stopów magnezu ze stopami aluminium z krzemem” liczy 121 stron, które uzupełnia bogata bibliografia (156 pozycje), oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Uważam, że przeprowadzona analiza aktualnego stanu wiedzy oraz dobór literatury przez Doktoranta pozwala wnosić o Jego dobrym merytorycznym przygotowaniu do podjęcia problematyki związanej z realizowaną tematyką pracy. Pozycje literaturowe są aktualne, większość publikowana jest po 2000 r. Język rozprawy jest poprawny, konstrukcja pracy jest logiczna, prawidłowo określona teza i cel pracy.

Poziom edycyjny pracy nie budzi większych zastrzeżeń, tekst jest sformatowany poprawnie, a rysunki staranne i czytelne.

2. Ocena części literaturowej

Przegląd literaturowy zawarty jest w rozdziałach 1 oraz 2 pracy jako część teoretyczna. W rozdziałach tych Autor opisał zagadnienia związane z tematyką pracy przedstawiając kolejno:

- wprowadzenie zawierające istotę podjętej tematyki,
- charakterystykę stopów metali lekkich: aluminium oraz magnezu,

- opis metod łączenia stopów magnezu ze stopami aluminium tj.: zgrzewanie dyfuzyjne, zgrzewanie ultradźwiękowe, zgrzewanie oporowe, zgrzewanie tarciove z mieszaniem materiału zgrzeiny, zgrzewanie wybuchowe, spawanie, metodę odlewniczą oraz inne.
- analizę układów równowagi fazowej: Mg-Al, Mg-Si, Al-Si, Mg-Al-Si, Mg-Zn, Al-Zn, Mg-Al-Zn,
- podsumowanie w postaci wniosków wynikających z przeglądu literatury.

Układ tej części pracy jest prawidłowy i wyczerpujący i stanowi bardzo dobre wprowadzenie teoretyczne do tematu pracy.

W treści tej części pracy Autor opisując analizę aktualnego stanu wiedzy bazując na zaczerpniętych grafikach mikrostruktur, bardzo często błędnie używał sformułowania „*struktura*” – przykładem jest podpis Rys. 2. na stronie 17. Dobrą praktyką każdej pracy jest wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń, które wstępnie definiują zastosowane skróty. W przedstawionej do opinii pracy takiego spisu zabrakło i stosowane przez Autora skróty nie do końca są zrozumiałe, przykładem może być zapis V_m/V_s ze strony 27 nawiązujący w treści do stosunku objętości odlewanej Mg do objętości wkładki Al w stanie stałym. W dysertacji pisanej w języku polskim wszystkie nazwy powinny być przetłumaczone na język polski i tłumaczenia powinny być przypisane do omawianej technologii. Przykładami braku tłumaczeń są opisy zawarte na stronach 25 czy też 36 i 37, gdzie pozostawiono oryginalne opisy technologii w języku angielskim.

W dysertacji Autor scharakteryzował metody - technologie łączenia stopów magnezu ze stopami aluminium, które zgodnie z treścią zawartą we wprowadzeniu powinien zakończyć jasno wyartykułowanymi zaletami i wadami dla każdej z nich. Przedstawienie zalet i wad występuje wyłącznie w podrozdziale 1.2.1 dotyczącym metody zgrzewania dyfuzyjnego.

W pracy znaleźć można lapsusy językowe, np. strona 12 - „*zdecydowana większość stopów magnezu wytwarzana jest metodą ciśnieniową (...)*” zamiast sformułowania np.: *zdecydowana większość odlewów ze stopów magnezu wytwarzana jest metodą ciśnieniową (...)*. Innym przykładem błędu językowego jest opis Rysunku 10 (b) na stronie 26 „*Próbki do badań wytrzymałości na ścinanie*” zamiast wytrzymałości.

Ogólnie jednak należy stwierdzić, że zebrane i przedstawione informacje stanowią dobrze prezentujący się zbiór odpowiadający tematowi pracy.

Część literaturową kończy rozdział podsumowujący przeprowadzoną analizę stanu wiedzy, z którego wynika potrzeba podjęcia takiego właśnie tematu i określenia tez i celu pracy.

Oceniając tę część pracy stwierdzam, że tak przedstawiona część literaturowa stanowi wystarczającą podstawę teoretyczną do realizacji podjętego tematu.

3. Teza i cel rozprawy

W rozdziale 3 zatytułowanym „Teza, cel i program pracy” Autor określił tezę pracy, cel pracy oraz zakres pracy, nazwany schematem programu badań. Teza pracy dotyczy możliwości kontrolowanego wytwarzania trwałego połączenia pomiędzy stopem magnezu a stopem aluminium metodą odlewniczą, poprzez zalanie stopem magnezu elementu wykonanego ze stopu aluminium.

Doktorant określił cel naukowy pracy, który dotyczy oceny wpływu parametrów procesu (rodzaj stopów, temperatura zalewania, temperatura i grubość elementu ze stopu aluminium, zastosowanie dodatkowej obróbki powierzchniowej) na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne powstałego połączenia.

Postawiona w tym rozdziale teza jest adekwatna do postawionego celu. Również przedstawiony na Rys. 28 na stronie 49 pracy zakres badań zatytułowany „Schemat programu badań” jest poprawny, pozwala na zrealizowanie postawionego celu i udowodnienia tezy rozprawy doktorskiej.

4. Ocena części merytorycznej rozprawy

Autor rozprawy w części doświadczalnej przedstawił użyte materiały, metodykę badań, wymienił wykorzystaną aparaturę badawczą, opisał sposób przeprowadzenia badań wytrzymałości na ścinanie oraz zaprezentował wyniki badań własnych. W tej części pracy w oparciu o analizę aktualnego stanu wiedzy zabrakło informacji dlaczego właśnie takie stopy – pary stopów wytypowano do badań. W mojej ocenie brakuje wyjaśnienia w jaki sposób określono temperaturę formy odlewniczej z wkładką z Al lub jego stopów, którą zalewano czystym technicznie Mg lub jego stopem. W dysertacji na

stronie 52 Autor zawarł jedynie informację: „Dla każdej par łączonych materiałów przeprowadzono próby, na podstawie których określono temperaturę podgrzania formy, dla której dochodziło do utworzenia ciągłego złącza.”, na podstawie której w tabeli 8 zawarł wykaz stosowanej temperatury formy. Biorąc pod uwagę wytypowane wartości temperatury formy Autor nie wyjaśnił, dlaczego dla pary AZ31/Zn/AW-6060 przyjęto temperaturę formy 20 lub 170 °C, gdzie dla innych par stosowano temperaturę w zakresie 300 – 370 °C i w jakim stopniu tak duże różnice przyjętej temperatury formy mogą wpłynąć na jakość wytworzonego połączenia.

W opisie przygotowania próbek zabrakło informacji w jaki sposób były przygotowywane wkładki z Al i jego stopów, które następnie były zalewane czystym technicznie Mg lub stopem magnezu. Wątpliwość ta nawiązuje do sformułowanego celu naukowego, w treści którego Autor wymienia, że celem naukowym będzie zbadanie wpływu parametrów procesu m.in. „zastosowanie obróbki powierzchniowej” na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne. Dokładnie rzecz biorąc, czy próbki były obrabiane mechanicznie i za każdym razem miały ten sam stan powierzchni, chropowatość (Ra, Rz), co ma wpływ na właściwości mechaniczne powstałego połączenia w szczególności na wytrzymałość na ścinanie? Chyba, że była przeprowadzona inna obróbka nieopisana w pracy i miała istotny wpływ na mikrostrukturę oraz właściwości mechaniczne otrzymanych połączeń.

W dalszej części pracy związanej z opisem wyników badań własnych Doktorant dość szczegółowo przedstawił wyniki badań mikrostruktur, mikrotwardości powstałych połączeń wytworzonych metodą odlewniczą pomiędzy badanymi materiałami.

W tej części pracy na podstawie przedstawionych wyników badań oraz zaprezentowanych danych, w tabeli 18 zabrakło wyników badań wytrzymałości na ścinanie dla niektórych z przyjętych wariantów. Tak przedstawione wyniki badań sprawiają wrażenie niekompletnych, co w treści pracy powinno zostać wyjaśnione.

Analizując przeprowadzone badania uważam, że zabrakło w tej części pracy jakiegokolwiek słowa wyjaśniającego, dlaczego badania analizy rentgenowskiej wykonano wyłącznie dla połączeń stopów AZ31/AW-6060 oraz stopów AZ31/AW-6060 z zastosowaną warstwą pośrednią. Uważam, że badania tego typu powinny być również przeprowadzone dla prób, w których występowały stopy AlSi17 oraz AlSi12, których

skład chemiczny jest rozbudowany, co mogłoby ujawnić inne fazy międzymetaliczne pochodzące np. od miedzi czy też niklu mogące mieć wpływ na otrzymane wyniki badań.

Przy analizie tej części pracy nasuwają się następujące uwagi:

1. dlaczego nie określano chropowatości powierzchni wkładek z Al oraz jego stopów?
2. dlaczego wykonując eksperymenty zastosowano różne wielkości form odlewniczych oraz wkładek o różnych grubościach?
3. w jaki sposób wyznaczono temperaturę formy odlewniczej?
4. dlaczego nie przeprowadzono badań wytrzymałości na ścinanie dla wszystkich z badanych próbek?
5. co Autor rozumie mówiąc w celu naukowym o wpływie parametrów procesu zastosowania obróbki powierzchniowej na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne?

Merytoryczną część pracy kończy rozdział 5 zatytułowany Podsumowanie i wnioski, który jest ogólnym podsumowaniem otrzymanych wyników badań oraz syntetycznie sformułowanymi czterema wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań.

Pewne wątpliwości budzi wniosek 4, w którym Autor charakteryzuje wyniki badań wytrzymałości na ścinanie, których badań nie przeprowadzono w każdym analizowanym przypadku, o czym już wcześniej wspomniałem.

Chcę podkreślić, że opracowana metoda wytwarzania trwałych połączeń pomiędzy Al/Mg oraz ich stopami, dobór zarówno rodzaju badań, jak i technik badawczych, wykorzystanie metod analitycznych, potwierdza dojrzałość naukową Autora rozprawy.

Powyższe uwagi, pomimo, że dość liczne, nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Do szczególnych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć:

- opracowanie metodyki wytwarzania trwałych połączeń stopów magnezu i aluminium metodą odlewniczą,
- kontrolowane wytwarzanie trwałych połączeń pomiędzy Al/Mg oraz ich stopami za pomocą metody odlewniczej.

5. Ocena końcowa

Przytoczone uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy zarówno pod względem zastosowanych metod badawczych, jak też uzyskanych wyników i ich interpretacji. Doktorant zrealizował przyjęty zakres merytoryczny pracy. Wykazał się wiedzą, umiejętnością prowadzenia eksperymentów oraz opracowania i analizy wyników, a także poprawnego wnioskowania. W tym miejscu podkreślić należy również bogaty dorobek publikacyjny mgr inż. Tomasza Buckiego, stanowiący 21 pozycji wg bazy Scopus.

Podsumowując należy podkreślić, że opracowanie metodyki kontrolowanego wytwarzania trwałych połączeń pomiędzy stopami magnezu a stopem aluminium metodą odlewniczą jest niewątpliwie istotnym osiągnięciem autorskim Doktoranta.

Wniosek końcowy

Na podstawie powyższej opinii o rozprawie doktorskiej mgra inż. Tomasza Buckiego, zatytułowanej „Zastosowanie metody odlewniczej do łączenia stopów magnezu ze stopami aluminium z krzemem” reprezentującej dyscyplinę **Inżynieria Mechaniczna** stwierdzam, że wykazał się on wiedzą umożliwiającą prowadzenie samodzielnych badań naukowych, a oceniana praca jest samodzielnym rozwiązaniem problemu badawczego, stanowi wkład w postęp wiedzy i spełnia wymogi stawiane przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U z 2017, poz. 1789 t.j. ze zm.), przedkładam więc Wysokiej Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej wniosek o dopuszczenie **mgra inż. Tomasza Buckiego** do publicznej obrony.

Łódź, 21. 09. 2021 r.

