

Rzeszów, 14.10.2023 r.

Dr hab. inż. Marek Mróz, profesor uczelni

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Katedra Odlewnictwa i Spawalnictwa

al. Powstańców Warszawy 12

35-959 Rzeszów

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Macieja Ferdyna**

pt. „**Wpływ parametrów obróbki cieplnej na wybrane właściwości**

mechaniczne ciśnieniowych odlewów strukturalnych ze stopów aluminium”

Praca doktorska reprezentuje dyscyplinę inżynieria materiałowa. Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej z dnia 25 września 2023 roku, znak pisma RDIMa.512.10.2023 RM.

Recenzja została sporządzona w oparciu o wytyczne wynikające z zapisu art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

1. WPROWADZENIE

Technologie odlewnicze zaliczane są do głównych technik wytwarzania części maszyn, wyrobów i detali stosowanych we wszystkich gałęziach przemysłu i dziedzinach życia człowieka. Różnorodność elementów i szeroki wachlarz ich wariantów były i są siłą napędową rozwoju tych technologii. Rozwój ten dokonuje się w różnych aspektach technologii odlewania. Jednym z dynamicznie rozwijających się trendów badawczych jest doskonalenie metod odlewania. W tym trendzie wyróżnia się odlewanie ciśnieniowe. Konwencjonalne odlewanie ciśnieniowe to wysokowydajna technologia wytwarzania quasi precyzyjnych odlewów stosowanych między innymi w przemyśle AGD, czy przemyśle samochodowym. Z uwagi na warunki procesu krystalizacji i krzepnięcia odlewów ciśnieniowych otrzymanych tradycyjną metodą, ich obróbka cieplna jest utrudniona. Duża szybkość chłodzenia powoduje krystalizację i krzepnięcie odlewów w krótkim czasie, co ogranicza możliwości ich zasilania i sprzyja powstawaniu porowatości skurczowej. Dodatkowo turbulentny przepływ ciekłego metalu w kanałach wnęki formy może powodować powstawanie porowatości gazowej. Wzrost ciśnienia w pęcherzykach gazu i w pustkach ulokowanych w przestrzeniach międzydendrytycznych, spowodowany cyklem

termicznym procesu obróbki cieplnej, może powodować występowanie zjawiska „puchnięcia” odlewów. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie podciśnienia we wnętrzu formy i kanałach układu wlewowego. Pozwala to na usunięcie powietrza z formy i zmniejszenie stopnia zagazowania ciekłego metalu podczas zalewnia formy.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Macieja Ferdyna znajduje się w obszarze aktualnych trendów badawczych, ponieważ dotyczy poprawy właściwości plastycznych (wydłużenia) strukturalnych odlewów ciśnieniowych, stosowanych w przemyśle samochodowym, drogą modyfikacji parametrów obróbki cieplnej. Praca ma wyraźnie wyeksponowany aspekt użytkowy.

2. FORMALNA OCENA PRACY

Treść rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Ferdyna mieści się na 139 stronach jednostronicowego wydruku i podzielona jest na część teoretyczną (jeden rozdział) i część badawczą (pięć rozdziałów). Przegląd piśmiennictwa, czyli część teoretyczna to 51 stron, natomiast część badawcza to 70 stron. Resztę stanowią wprowadzenie, wykaz literatury, spisy rysunków i tabel oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Analizując spis treści rozprawy odniosłem wrażenie, że jest on zbyt rozbudowany. Doktorant na 55 stronach przeglądu piśmiennictwa umieścił aż 25 rozdziałów i podrozdziałów.

Ogólnie rozprawa doktorska ma poprawny układ dedykowany tego typu pracom naukowym. Składa się z części teoretycznej i badawczej, przy czym udział tej drugiej jest większy. Po przeglądzie piśmiennictwa, w części badawczej Doktorant przedstawił badania własne, które podzielił na badania wstępne i badania zasadnicze. Pomiędzy rozdziały opisujące te badania wstawił rozdział 3 „Koncepcja badań”, w którym sprecyzował główne cele pracy oraz cele użytkowe. Dopełnieniem tego rozdziału są informacje na temat zakresu, materiału i metodyki badań. Pracę kończą „Podsumowanie” oraz „Wnioski i zalecenia technologiczne”. Lektura tych rozdziałów wykazuje na pewne podobieństwa w ich konstrukcji i treści, myślę więc, że można by było pokusić się o skomasowanie tych rozdziałów.

Wykaz literatury zawiera 103 pozycje, przy czym 56 pozycji zostało wydane po roku dwutysięcznym. Doktorant skorzystał również z jednej strony internetowej. Nie mam uwag co do merytorycznego aspektu tego wykazu.

Ogólnie rozprawa doktorska mgr. inż. Macieja Ferdyna jest napisana poprawnie. Oczywiście przy takiej objętości znalazłem kilka błędów gramatycznych, stylistycznych i interpunkcyjnych, np. na stronie 8 czy 23.

3. MERYTORYCZNA OCENA PRACY

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Ferdyna dotyczy doboru parametrów obróbki cieplnej odlewów ciśnieniowych, stosowanych w przemyśle samochodowym, w aspekcie poprawy właściwości plastycznych (wydłużenia) stopów aluminium-krzem.

W części teoretycznej, której treści są adekwatnie dobrane do tematu rozprawy, Doktorant scharakteryzował odlewnicze stopy Al-Si, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z krystalizacją tych stopów oraz wpływem dodatków

stopowych i zabiegu modyfikacji ciekłego metalu na właściwości użytkowe tych stopów. Następnie scharakteryzowano proces odlewania ciśnieniowego, w tym formy ciśnieniowe i wady odlewów ciśnieniowych. Oprócz zagadnień związanych z krystalizacją pierwotną stopów aluminium-krzem, w dalszej części dokonana została również charakterystyka krystalizacji wtórnej odlewów aluminiowych czyli ich obróbki cieplnej, w tym obróbki cieplnej odlewów ciśnieniowych. Rozważania Doktoranta wzbogacają liczne ilustracje, zdjęcia, wykresy i obrazy mikrostruktury, których jakość nie budzi większych zastrzeżeń.

Na podstawie analizy części teoretycznej stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Macieja Ferdyna prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria materiałowa i tym samym spełniony jest pierwszy warunek wynikający zapisu art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, dotyczącego wymagań stawianych rozprawom doktorskim.

Pierwszym elementem części badawczej są badania wstępne, czyli rozdział 2. Lektura tego rozdziału sugeruje, że tak naprawdę stanowi on rozszerzoną analizę stanu zagadnienia - zawiera informację o firmie Magna Casting Poland oraz technologii wytwarzania dwóch elementów konstrukcyjnych nadwozia samochodu osobowego, które stanowią przedmiot badań Doktoranta. Rozdział ten kończy się sprecyzowaniem przesłanek do podjęcia tematu badawczego. Temat ten wpisuje w politykę jakości firmy Magna Casting Poland, której jednym z celów jest zmniejszenie liczby braków odlewów ciśnieniowych powstających w efekcie ich obróbki cieplnej, a w szczególności w wyniku zbyt niskich wartości wydłużenia.

W rozdziale 3 „Koncepcja badań” mgr inż. Maciej Ferdyn precyzuje cele główne oraz cele użytkowe. Cele główne to osiągnięcie zadawalającego poziomu wydłużenia materiałów stosowanych na odlewy ciśnieniowe, a mianowicie stopu AlSi7Mg i stopu AlSi10MnMg, drogą odpowiednio dobranych parametrów obróbki cieplnej. Cele użytkowe to skrócenie czasu obróbki cieplnej odlewów ciśnieniowych oraz zmniejszenie liczby ich braków przy zwiększeniu udziału złomu obiegowego w procesie przygotowania ciekłego metalu z 50 do 70%. Celem użytkowym jest również wdrożenie nowo opracowanej obróbki odlewów ciśnieniowych w odlewni Magna Casting Poland, z możliwością aplikacji tej technologii w innych oddziałach korporacji Magna. Sposób w jaki Doktorant zamierza osiągnąć założone cele zaprezentował w podrozdziałach „Zakres badań wstępnych i zasadniczych” oraz „Techniczna strona realizacji planu badań”. Jako nowości rozprawy wskazano określenie związku przyczynowo skutkowego między parametrami utwardzania wydzieleniowego, a dokładnością kształtowo-wymiarową odlewów ciśnieniowych oraz ilością pęcherzy gazowych w tych odlewach, a także wykonanie badań właściwości mechanicznych i dokładności kształtowo-wymiarowej oraz udziału porów gazowych na gotowych odlewach i ich weryfikacja w warunkach produkcyjnych odlewni Magna Casting Poland.

Przewidziane do realizacji zadania badawcze zostały scharakteryzowane w kolejnym podrozdziale „Materiał, stanowiska i metodyka badań”. Analiza treści tego rozdziału wskazuje na rzetelność naukową Doktoranta, ponieważ w przeważającej większości stosowanych przez niego narzędzi i metod badawczych, podane informacje są wyczerpujące. Szkoda tylko, że w niektórych przypadkach

Doktorant omawiając zadanie badawcze odsyła do wcześniejszych podrozdziałów 2 rozdziału, co utrudnia lekturę rozprawy.

Przed podaniem wyników badań zasadniczych, Doktorant doprecyzowuje najważniejsze zadania badawcze, podając zakresy zmienności temperatury oraz czasu starzenia odlewów ciśnieniowych ze stopu AlSi7Mg oraz temperatury przesycania i starzenia odlewów ciśnieniowych ze stopu AlSi10MnMg.

Wyniki badań zasadniczych przedstawiono w kolejnym rozdziale. Autor, na podstawie uzyskanych wyników badań właściwości wytrzymałościowych wybiera najkorzystniejszy wariant temperatury i czasu starzenia odlewów ze stopu AlSi7Mg oraz temperatury przesycania i starzenia odlewów ze stopu AlSi10MnMg. Dla ułatwienia analizy tych wyników, zostały one przedstawione w formie tabelarycznej i graficznej.

Uzupełnieniem wyników badań zasadniczych jest analiza mikrostruktury odlewów ciśnieniowych przed i po obróbce cieplnej. Uważam, że wybór badań metalograficznych do analizy efektów obróbki cieplnej, był uzasadniony, ponieważ jednym z bezpośrednich efektów obróbki cieplnej jest zmiana mikrostruktury.

W końcowej części wyników badań zasadniczych, w sposób opisowy Doktorant dokonał oceny udziału pęcherzy gazowych w odlewie ze stopu AlSi10MnMg, akcentując uzyskanie znacznie mniejszego udziału tych pęcherzy w odlewie obrobionym cieplnie według nowych parametrów przesycania i starzenia. Potwierdzeniem skuteczności nowo opracowanej obróbki cieplnej są również wyniki oceny dokładności kształtowo-wymiarowej, przedstawione w pracy w formie tabelarycznej i rysunkowej.

Ostatecznym potwierdzeniem osiągnięcia złożonych celów pracy są wyniki porównawczych badań udziału odlewów wadliwych dla najlepszego wariantu obróbki cieplnej. Badania te wykonano dla określenia liczby braków, czyli odlewów wadliwych w dwóch okresach, w ujęciu kwartalnym, tj. w latach 2020-2022 i w pierwszym półroczu 2023 roku. Doktorant wskazuje, że w przypadku odlewu ciśnieniowego ze stopu AlSi7Mg, liczba braków spadła o około 80%, a w przypadku odlewów ze stopu AlSi10MnMg o 60%.

W podsumowaniu oraz we wnioskach i zaleceniach technologicznych, mgr inż. Maciej Ferdyn z dużą rzetelnością i dokładnością przedstawił wnioski płynące z realizacji badań własnych, potwierdzające osiągnięcie założonych celów, tzn. zastosowanie temperatury i czasu starzenia odpowiednio 220°C i 90 minut zapewnia uzyskanie lepszych właściwości plastycznych stopu AlSi7Mg, przy zachowaniu zadowalających wartości pozostałych właściwości mechanicznych oraz zastosowanie temperatury przesycania i starzenia odpowiednio 455°C i 210°C gwarantuje lepsze właściwości plastyczne stopu AlSi10MnMg przy zachowaniu zadowalających wartości pozostałych właściwości mechanicznych.

Osiągnięcie przez mgr. inż. Macieja Ferdyna celów rozprawy doktorskiej świadczy o umiejętności prowadzenia badań naukowych oraz znajomości metod i narzędzi badawczych charakterystycznych dla dyscypliny inżynieria materiałowa. Uważam, że zakres badań i dobór metod badawczych jest poprawny. Mgr inż. Maciej Ferdyn wykazał się predyspozycjami do prowadzenia badań naukowych, w aspekcie umiejętności identyfikacji problemu naukowego, formułowania celów oraz doboru

narzędzi i metod badawczych dla osiągnięcia tych celów, jak również formułowania konstruktywnych wniosków.

W związku z powyższym stwierdzam, że mgr inż. Maciej Ferdyn wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i tym samym spełnił drugi warunek wynikający z zapisu art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Wdrożeniowy charakter recenzowanej rozprawy doktorskiej potwierdza spełnienie ostatniego warunku, czyli czy rozprawa doktorska stanowi rozwiązanie problemu naukowego w zakresie zastosowania wyników badań własnych w sferze gospodarczej lub społecznej. Nie mam wątpliwości, że tak jest. Identyfikacja i geneza problemu naukowego są ulokowane w sferze gospodarczej, do rozwiązania tego ważnego dla odlewni Magna Casting Poland problemu wykorzystano narzędzia i metody badawcze, a w konkluzji oprócz wniosków przedstawiono zalecenia praktyczne. Potwierdza to również osiągnięcie założonych celów użytkowych. Mając to na względzie stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Macieja Ferdyna stanowi oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników badań własnych w sferze gospodarczej i tym samym spełnia ostatni warunek wynikający z treści art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

4. UWAGI SZCZEGÓŁOWE I PYTANIA

W tej części recenzji zamieściłem uwagi szczegółowe i pytania wynikające z pewnych niedomówień lub niejasności, które znalazłem w rozprawie.

Przedstawiony poniżej wykaz jest zgodny z układem treści rozprawy. W pierwszej kolejności zostaną przedstawione uwagi:

- **Uwaga 1**, strona 8. Tytuł podrozdziału 1.2.1 można by pominąć. Podobnie tytuł podrozdziału 1.2.2 na stronie 9.
- **Uwaga 2**, strona 15, rys.1.8. Brak wyjaśnienia cyfr 1, 2, 3 i 4.
- **Uwaga 3**, strona 20. Niepotrzebny podrozdział 1.6.1.
- **Uwaga 4**, strona 21, rys.1.12. Opisy na rysunku powinny być po polsku i większą czcionką.
- **Uwaga 5**, strona 22, rys.1.13. Brak odniesienia w tekście do tego rysunku oraz brak objaśnienia co oznacza a), b) i c).
- **Uwaga 6**, strona 24, 17 wiersz od dołu. Jest cytuję: „P20 to rodzaj wstępnie hartowanej stali formierskiej” koniec cytatu. Powinno być „ stali narzędziowej”.
- **Uwaga 7**, strona 25, rys.1.16. Brak odniesienia w tekście do tego rysunku. Podobnie jak do rysunków 1.19-1.23, 1.26, 2.37-2.40.
- **Uwaga 8**, strona 52, 3 wiersz nad rys.1.42. Jest „2.19.b”, a powinno być 1.42b.
- **Uwaga 9**, strona 52. Rys.1.42 jest taki sam jak rys.1.40., te same mikrostruktury.
- **Uwaga 10**, strona 53, 3 wiersz od góry. Jest „2.20.b”, a powinno być 1.43b.
- **Uwaga 11**, strona 64. Podrozdział 2.3.2 ma taki sam tytuł jak rozdział 1.6.

Lektura rozprawy nasuwa kilka pytań, których zadanie Doktorantowi jest pewną formą dyskusji i polemiki w obszarze podjętej przez niego tematyki badawczej. Oto one:

- **Pytanie 1** odnoszące się do treści ostatniego akapitu od dołu na stronie 51: W tym akapicie jest mowa o fazie Mg_2Si , czy fazie Al_2Cu , jak to pokazano na rys. 1.40?
- **Pytanie 2** odnoszące się do treści 2 wiersza od góry na stronie 55. Proszę doprecyzować stop $AlSiCuMgNiFe$?
- **Pytanie 3** odnoszące się do rys.2.11. Co oznaczają poszczególne kolory linii na wykresach a, b i c.
- **Pytanie 4** dotyczące pobierania próbek do badań właściwości mechanicznych. Dlaczego z odlewu PP pobierana jest tylko jedna próbka, a z odlewu JLR aż trzy próbki?
- **Pytanie 5** odnoszące się do metodyki badań metalograficznych: W jakim stanie były zgłady metalograficzne, na których prowadzono obserwację mikrostruktury: trawionym, czy nietrawionym?
- **Pytanie 6** odnoszące się do rys.4.8. Jak wytłumaczyć obecność wanadu i niklu w stopie $AlSi7Mg$?
- **Pytanie 7** odnoszące się do rys.4.11. Jak wytłumaczyć obecność wapnia w stopie $AlSi7Mg$? Podobnie w tabeli 4.18. w stopie $AlSi10MnMg$ pojawia się wapń.

Przedstawiona powyżej analiza rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Ferdyna wykazała pewne niedociągnięcia. W większości uwagi szczegółowe nie są tak istotne dla merytorycznej oceny rozprawy. Postawione pytania wymagają pewnych wyjaśnień. Odpowiedzi na te pytania mogą być również pomocne w dalszej działalności naukowej mgr. inż. Macieja Ferdyna.

5. PODSUMOWANIE

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy mgr. inż. Macieja Ferdyna, stwierdzam, że spełnia ona wszystkie wymagania stawiane rozprawie doktorskiej, które wynikają z zapisu z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Mgr inż. Maciej Ferdyn wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie inżynieria materiałowa oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Przedstawił również rozwiązanie problemu naukowego mające zastosowanie w sferze gospodarczej.

W konkluzji pozytywnie oceniam rozprawę doktorską mgr. inż. Macieja Ferdyna i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji i obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej.

Podpisał: dr hab. inż. Marek Mróz, prof. PRz

