

Dr hab. inż. Tomasz Wróbel, prof. PŚ
Katedra Odlewnictwa
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

RECENZJA

pracy doktorskiej

Pana mgra inż. Arkadiusza Zdzisława Janusa

pod tytułem

***„Rola czystości metalu w tworzeniu się mikroporowatości w odlewach
kokilowych ze stopów AlSi7Mg odlewanych metodą niskociśnieniową”***

*wykonanej pod opieką promotora Pana prof. dra hab. inż. Jerzego Zycha
i promotora pomocniczego Pana dra inż. Janusza Kozany,
opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie
(pismo RD IMat.510-191-79/2023 prof. dr hab. inż. Agnieszki Kopia z dnia 10.07.2023r.)*

1. Ocena doboru tematyki badawczej

Stopy metali lekkich są dominującym tworzywem stosowanym w konstrukcji współczesnych pojazdów, głównie wytwarzanych przez przemysł motoryzacyjny. Szczególną rolę odgrywają w tym przypadku stopy Al, wytwarzane w postaci wlewków poprzez odlewanie ciągłe zintegrowane z ich następną przeróbką plastyczną oraz w postaci odlewów w technologii odlewania kokilowego oraz przede wszystkim ciśnieniowego. Obecnie światowa produkcja odlewów ze stopów Al wynosi ponad 16 mln. ton, w tym w Polsce około 272 tyś. ton wg najnowszych, dostępnych danych tj. za rok 2020. Skala produkcji odlewów ze stopów Al lokuje je na drugim miejscu po żeliwie szarym, a przed staliwem w rankingu wkładu w światową produkcję odlewniczą. Wykazane powyżej znaczenie stopów Al dla przemysłu odlewniczego ma niewątpliwy wpływ na podejmowane na szeroką skalę od wielu lat badania naukowe w zakresie ich technologii z uwzględnieniem zarówno sposobu przygotowania ciekłego stopu m.in. wpływu poszczególnych składników składu chemicznego oraz zagadnienia rafinacji i modyfikacji, a także zjawisk zachodzących podczas krzepnięcia i krystalizacji w formie odlewniczej, głównie trwałej zalewanej zarówno grawitacyjnie jak i pod wpływem zwiększonego ciśnienia. Ponadto bardzo dobrze poznana w fachowej literaturze krajowej i zagranicznej jest tematyka oceny jakości, a zatem technologicznej użyteczności odlewów ze stopów Al, prowadzona w oparciu o wyniki badań nieniszczących oraz metalograficznych makro- i mikroskopowych, a także właściwości

użytkowych, w tym mechanicznych. Niemniej, problematyka oddziaływania kontrolowanej i optymalizowanej w procesie rafinacji fizycznej ilości wodoru w bardzo często stosowanym siluminie podeutektycznym gatunku AlSi7Mg, jest stosunkowo oryginalna i niepowszechna w literaturze naukowej z zakresu odlewnictwa. Pośród dostępnej literatury poruszającej ww. tematykę należy wymienić między innymi prace prowadzone po kierunku Profesorów Johna Campbella oraz Deryie Dispinara, a także prowadzone w kraju pod kierunkiem Profesora Antoniego Orłowicza. Prace te dot. wprawdzie wpływu wodoru na porowatość rafinowanych barbotażowo z użyciem wirującej głowicy pod- i okołoeutektycznych stopów Al-Si, z uwzględnieniem oddziaływania H₂ na mechanizm jej powstawania oraz właściwości mechaniczne ww. stopów, to jednak wyjście z tą tematyką do skali w pełni przemysłowej i przyjęcie do badań wymagającego od strony technologicznej odlewu felgi samochodowej, co zaproponowano w opiniowanej pracy doktorskiej oraz dodatkowo połączenie podjętych rozważań z wpływem sposobu modyfikacji na porowatość odlewów jest jak najbardziej zasadne. ***W związku z tym, podjętą w opiniowanej pracy doktorskiej tematykę udoskonalenia technologii odlewania stopu AlSi7Mg przeznaczonego na felgi samochodowe uważam za celową i istotną nie tylko z naukowego punktu widzenia ale również i użytecznego. Ponadto analizując treść i zakres pracy należy stwierdzić, że wpisuje się ona w pełni w dyscyplinę naukową Inżynieria Materiałowa.***

2. Ocena formalna pracy

Praca doktorska Pana mgr inż. Arkadiusz Janusa napisana jest na 131 stronach (plus 7 stron załączników), w klasycznym dla tego typu prac układzie obejmującym w pierwszej części przegląd piśmiennictwa, a w drugiej badania własne wraz z ich omówieniem. Praca składa się z poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim, dwóch głównych rozdziałów oraz kilkudziesięciu podrozdziałów zawierających 92 rysunki i 15 tabel, a także spisu literatury. Dodatkowo na końcu pracy zamieszczono 6 załączników w postaci rysunków i tabel.

Klasyczny układ pracy nie budzi zastrzeżeń. Praca rozpoczyna się streszczeniem w języku polskim i angielskim, w którym Autor przedstawia w sposób uogólniony strukturę rozprawy doktorskiej oraz jej cel i zrealizowany zakres badań. Niestety w streszczeniu nie uwzględniono, chociażby skrótowo najważniejszych wniosków płynących z przeprowadzonych badań, co uważam za pewnego rodzaju niedociągnięcie, podobnie jak brak tytułu rozprawy doktorskiej w języku angielskim. Następnie, we wstępie przedstawiono ogólną charakterystykę Al i jego stopów z uwzględnieniem ich znaczenia dla przemysłu motoryzacyjnego. Kolejne podrozdziały przeglądu literatury dotyczą problematyki technologii topienia, rafinacji i modyfikacji siluminów, z uwzględnieniem budowy i zasady działania urządzeń do rafinacji barbotażowej oraz następnie technologii obróbki cieplnej analizowanych stopów Al-Si. Ponadto, co jest całkowicie zrozumiałe z punktu widzenia realizowanej tematyki badawczej sporo miejsca poświęcono znaczeniu porowatości gazowej i skurczowej w odlewanych stopach Al-Si, oczywiście z uwzględnieniem wpływu wodoru, a także mechanizmowi modyfikacji i jej wpływu

na mikrostrukturę siluminów podeutektycznych. W ogólności przegląd literatury został opracowany na podstawie 71 pozycji literaturowych.

Pozostałe 12 pozycji literaturowych zostało użyte jako materiał źródłowy w zastosowanej metodyce badań, a także w dyskusji uzyskanych wyników, które zostały przedstawione w dalszej części pracy obejmującej badania własne. Klasycznie, tą część pracy Autor rozpoczyna od sformułowania jej celów oraz przedstawienia przyjętych trzech tez badawczych. Następnie przedstawiono zakres pracy, opisując badany proces technologiczny odlewania niskociśnieniowego felg samochodowych ze stopu AlSi7Mg, z uwzględnieniem rafinacji wybraną metodą fizyczną z kolejnym celowym i kontrolowanym wprowadzeniem wodoru do ciekłego stopu, modyfikacji oraz finalnej obróbki cieplnej. Ponadto wymieniono rodzaje prowadzonych badań laboratoryjnych i prób technologicznych. W szczególności aby zrealizować przyjęte cele badawcze i udowodnić postawione tezy, Doktorant zrealizował następujący zakres badań:

- a) Eksperymentalna weryfikacja przydatności technologicznej 3 rodzajów rotorów tj. dwóch typu pompa i jednego typu wirnik, możliwych do zastosowania w użytym w badaniach zasadniczych stanowisku do rafinacji barbotażowej. Przeprowadzone w szerokim zakresie badania należy uznać za jak najbardziej celowe, gdyż pozwoliły na optymalizację zabiegu rafinacji barbotażowej poprzez wybór optymalnego kształtu rotora oraz pozwoliły poznać Autorowi pracy wiele istotnych zjawisk występujących w tym procesie i wpływających na czystość metalurgiczną ciekłego stopu.
- b) Prognozowanie numeryczne rozkładu porowatości w badanej technologii odlewania niskociśnieniowego felg samochodowych z użyciem profesjonalnego pakietu oprogramowania MagmaSoft. Przeprowadzone badania pozwoliły na uzyskanie danych dot. prawdopodobnych miejsc wystąpienia wad odlewniczych w badanych odlewach, które będą weryfikowane w dalszej części pracy poprzez badania eksperymentalne.
- c) Opracowanie planu zasadniczego eksperymentu odlewniczego, w którym głównymi zmiennymi czynnikami procesu były rodzaj modyfikatora tzn. stopy wstępne AlTi5B1 i AlTi10 oraz sole zawierające fluorotytanian potasu K_2TiF_6 i fluoroboran potasu KBF_4 oraz czas wprowadzania do ciekłego stopu wodoru w postaci mieszaniny 70%Ar i 30%H₂. W sumie przyjęty plan eksperymentu, który przedstawiono czytelnie w tabeli 2.3, obejmował wykonanie 90 odlewów próbnych.
- d) Określenie wpływu badanych wariantów rafinacji i modyfikacji na lejność stopu AlSi7Mg, jako podstawowej właściwości technologicznej stopu odlewniczego.
- e) Określenie wpływu badanych wariantów rafinacji i modyfikacji na poziomu zagazowania ciekłego stopu poprzez oznaczenie ilości wodoru metodą pierwszego pęcherzyka oraz z użyciem dedykowanego do tego celu analizatora, a także oznaczenie procentowo wielkości porowatości w próbkach metodą DI (Density Index), bazującą na porównaniu ich gęstości po odlaniu przy ciśnieniu atmosferycznym oraz w niskiej próżni (80Tr). Ponadto makroskopowo porowatość odlewów oceniano w ciśnieniowej próbie szczelności.
- f) Badania metalograficzne odlewów ze stopu AlSi7Mg rafinowanego i modyfikowanego wg przyjętych wariantów, w zakresie mikroskopii świetlnej wraz z ilościową analizą dot. obecności

- Si w eutektyce $\alpha(\text{Al}) + \beta(\text{Si})$ oraz wad odlewniczych typu porowatość, a także pomiaru parametru DAS (Dendrite Arm Spacing) opisującego wielkość rozdrobnienia mikrostruktury.
- g) Ilościowa i jakościowa analiza wtrąceń niemetalicznych w badanym stopie AlSi7Mg w oparciu o wyniki badań metalograficznych mikroskopowych w zakresie mikroskopii świetlnej. Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu przyjętych wariantów rafinacji i modyfikacji na czystość metalurgiczną odlewów.
 - h) Badania krystalizacji modyfikowanego różnymi sposobami stopu AlSi7Mg metodą ATD tj. poprzez rejestrację krzywych chłodzenia w próbniku oraz następnie analizę obliczonych na ich podstawie krzywych krystalizacji. Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie oddziaływującej jakościowo na finalną mikrostrukturę badanego siluminu temperatury przemiany eutektycznej w zależności od zastosowanego modyfikatora tj. zaprawy lub soli z Ti i B.
 - i) Określenie wpływu badanych wariantów rafinacji i modyfikacji na właściwości mechaniczne tj. R_m , $R_{p0,2}$ i A odlewów ze stopu AlSi7Mg w stanie po obróbce cieplnej typu utwardzanie wydzieleniowe. Badania bardzo celowe, gdyż ww. właściwości mechaniczne stanowią podstawę do oceny użyteczności odlewów wykonanych wg opracowanej technologii.
 - j) Przeprowadzenie wymaganych dla odlewanych ze stopów Al-Si felg samochodowych nieniszczących badań rentgenowskich w zakresie odlewów wykonywanych wg przyjętych do realizacji w pracy różnych wariantach rafinacji i modyfikacji.
 - k) Oznaczenie składu chemicznego próbek metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z ograniczeniem do stężenia Si, Fe, Mg oraz dodatków modyfikujących tj. Ti, B i Sr.

Całość pracy zakończona jest obszernym podsumowaniem oraz sformułowaniem przez Autora ośmiu wniosków końcowych.

W związku z powyższym strona formalna opiniowanej rozprawy doktorskiej spełnia wymagania zwyczajowo przyjęte dla tego typu prac naukowych. Praca napisana jest poprawnym i zrozumiałym językiem, bez istotnych błędów stylistycznych i gramatycznych. Występujących w niewielkiej ilości błędów edytorskich, najczęściej typu „literówka” nie wymieniam szczegółowo, ufając że Autor dostrzeże je po wnikliwym przeczytaniu pracy i wyeliminuje w publikacjach, które powstaną w oparciu o przedstawioną rozprawę doktorską. Dodatkowo w przyszłych pracach zalecam bardzo zdecydowanie większą staranności w przygotowywaniu spisu literatury, głównie w sensie stosowania jednolitego sposobu opisu poszczególnych pozycji, dodatkowo uwzględniającego wszystkie niezbędne dane bibliograficzne.

Podsumowując, pomimo zgłoszenia kilku uwag krytycznych, aspekt formalny recenzowanej rozprawy doktorskiej oceniam jak najbardziej pozytywnie.

3. Ocena merytoryczna pracy

3.1. Przegląd literatury

Zgodnie z danymi przedstawionymi w rozdziale 2 niniejszej recenzji, przegląd literatury w pracy doktorskiej Pana mgr inż. Arkadiusza Janusa został opracowany w oparciu o 71 pozycji literaturowych z 83 wszystkich zacytowanych w pracy, które obejmują zarówno książki, artykuły

w czasopiśmie naukowych, referaty konferencyjne oraz strony internetowe. Blisko 25% cytowanych pozycji literaturowych zostało wydanych po roku 2000, co jest akceptowalnym wskaźnikiem, zważywszy na powszechność tematyki dot. odlewniczych stopów Al-Si w badaniach prowadzonych przez ośrodki naukowe krajowe oraz zagraniczne. Ponadto, w pracy Autor zacytował dwie publikacje o zasięgu krajowym, których jest współautorem, co z kolei dowodzi o jego wkładzie w rozwój tematyki rafinacji i modyfikacji podeutektycznych stopów Al-Si. Pod względem merytorycznym przegląd literatury jest opracowany właściwie i zawiera w mojej opinii aktualny stan wiedzy w zakresie ogólnie rozumianej technologii odlewania podeutektycznych stopów Al-Si. Niemniej, pośród niewielu uwag krytycznych dot. tej części pracy należy wymienić:

- Nieprecyzyjne definiowanie % np. w rozdziale 1.1 na str. 9, w miejscu w którym Autor dokonuje podziału siluminów wg stężenia Si lub w tabelach 1.1 i 1.2, w miejscach w których podano stężenia dodatków modyfikujących. W wymienionych i innych podobnych miejscach pracy Autor powinien stosować zapis % wag., względnie %mas.
- Sposób zapisu argonu - gazu obojętnego chemicznie jednoatomowego jako Ar₂, np. w rozdziale 1.7 na str. 18.
- Stwierdzenie Autora zamieszczone w rozdziale 1.8 na str. 24, tzn.: „ (...) są próbki na zgłady do analizy skaningowej i mikroskopowej (...)”, które jest niejasne i nieprecyzyjne. Prawdopodobnie „analiza skaningowa” to badania z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego, chociaż brak w pracy przykładowych wyników prezentujących tą metodę badawczą, a „analiza mikroskopowa” to badania z użyciem mikroskopu świetlnego, co obrazują rysunki 1.15, 1.16 i 1.17.
- Stwierdzenia Autora zamieszczone w rozdziale 1.11 na str. 39, tzn.: „Duża część elementów konstrukcyjnych odlewanych z podeutektycznych stopów Al-Si poddawana jest obróbce cieplnej – ulepszaniu cieplnemu (T6) celem poprawy ich właściwości mechanicznych. (...)”. Termin „ulepszanie cieplne” jest użyty błędnie, gdyż definiuje wyłącznie zabieg obróbki cieplnej stali, staliwa lub żeliwa, na który składa się hartowanie z następnym wysokim odpuszczaniem. W przypadku stopów Al nie może być mowy o tego typu obróbce cieplnej. Zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 1706 obróbka cieplna oznaczona symbolem T6 to utwardzanie wydzieleniowe w wariacie ze starzeniem sztucznym. Podobnie w rozdziale 1.10.1 na str. 29, Autor dzieli stopy Al-Si na: „(...) Ze względu na zastosowanie grupy stopów 4xx.x dzieli się je na stopy nie obrabialne cieplnie, stopy obrabialne cieplnie oraz utwardzane dyspersyjnie. (...)”, podczas gdy ostatni z wymienionych jest również zabiegiem obróbki cieplnej. W związku z tym, podział powinien raczej dot. stopów obrabianych lub nieobrabianych cieplnie, ewentualnie uwzględnić rozróżnienie na stopy odlewnicze i do przeróbki plastycznej tj. przykładowo gatunek AlSi2Mn.
- Stwierdzenia Autora zamieszczone w rozdziale 1.10.7 na str. 38, tzn.: „W przemyśle odlewniczym dużą zaletą jest umiejętność wykorzystania procesu mającego na celu miejscowe rozdrobnienie struktury (poprawa własności) oraz powiększenie zawartości

struktury metalograficznej odlewu. (...)"'. Druga część ww. zdania dot. „powiększenia zawartości struktury metalograficznej odlewu” jest całkowicie niezrozumiała.

- W rozdziale 1.10.7 na str. 39, rysunek 1.25 pozostawiono bez komentarza i związku z tekstem tego rozdziału.

Podsumowując, powyżej wypunktowane błędy i niedoskonałości merytoryczne nie powodują obniżenia mojej ogólnej pozytywnej oceny dotyczącej przeglądu literatury przedstawionego w opiniowanej pracy doktorskiej.

3.2. Cele i tezy pracy

Cele i tezy pracy zostały zdefiniowane przez Pana mgr inż. Arkadiusza Janusa w rozdziale 2.1 na str. 47 i 48 pracy. Sformułowanie celów i tez pracy jest poprzedzone komentarzem nawiązującym do przedstawionej w części pierwszej pracy analizy danych literaturowych, a także wstępnych badań Autora, które jednak wprost nie są zdefiniowane, chociaż można się domyślać, że chodzi m.in. o wyniki przedstawione w 2020r. w pracy [6]. Szkoda, że właśnie w tym miejscu Autor nie powołał się na swoje wcześniejsze wyniki badań, które zaprezentował w artykułach w latach 2019 – 2022. Takie podejście zapewniłoby swoistą logiczną ciągłość prowadzonych badań z ich naturalnym rozbiem na badania wstępne zaprezentowane w publikacjach i zasadnicze przedstawione w opiniowanej pracy doktorskiej. Niemniej, Autor pracy postanawiając poszukiwać optymalnej zawartości wodoru w stopie AlSi7Mg dla zapewnienia najlepszych właściwości mechanicznych i ograniczenia wad odlewniczych, zdefiniował w mojej opinii tzw. „lukę badawczą”, którą postanowił wypełnić zaplanowanymi badaniami i analizą ich wyników.

Podsumowując, pomimo zgłaszanych powyżej uwag, w mojej opinii zarówno cele jak i tezy są sformułowane poprawnie i w jasny sposób informują czytelnika co będzie przedmiotem badań i jakie aspekty technologii odlewania stopu AlSi7Mg będą analizowane.

3.3. Badania własne – metodyka badań, wyniki i ich dyskusja oraz wnioski

Prezentacja przeprowadzonych badań własnych wraz z dyskusją uzyskanych wyników została przez Pana mgr inż. Arkadiusza Janusa poprzedzona opisem zakresu badań oraz charakterystyką badanych odlewów tzn. felg samochodowych oraz przedstawieniem miejsc pobierania próbek do poszczególnych badań. W zasadzie przedstawione opisy są wystarczające, z tym że grupy właściwości R_m , $R_{p0,2}$ i A nie powinno się określać mianem właściwości wytrzymałościowych, a mechanicznych gdyż co prawda dwie pierwsze są atrybutami wytrzymałości ale ostatnia opisuje ciągliwość (plastyczność) stopu. Tego typu błąd Doktorant w części pracy obejmującej „Badania własne” popełnia kilkakrotnie. Następnie Autor przedstawia konsekwentnie w kolejnych podrozdziałach wyniki z uzyskanych, co należy podkreślić i docenić bardzo obszernych badań (wg. opisu a÷k w pkt. 2 niniejszej recenzji), poprzedzając je każdorazowo w większości dobrze przygotowanym opisem metodyki badawczej. Ponadto, co jest bardzo cenne w każdej pracy naukowej, w wybranych podrozdziałach Doktorant prowadzi dyskusję z wynikami uzyskanymi przez innych Autorów w publikacjach naukowych, umiejętnie

wykorzystując i interpretując płynące z ich analizy wnioski. W prowadzonej dyskusji Doktorant czytelnie umiejscawia stosowne odnośniki literaturowe, chociaż analogicznie jak w przypadku pierwszej części pracy bibliografia jest przygotowana mało czytelnie i słabo edycyjnie. Ponadto powoływanie się w rozprawie doktorskiej na źródło www.google.pl (dwa razy jako [7] i [81]) uważam za niestosowne. Natomiast przedstawienie wyników badań zarówno w formie opisów jak i graficznej jest w zdecydowanej większości na dobrym, akceptowalnym dla tego typu prac naukowych poziomie. Praca zakończona jest obszernym podsumowaniem, w którym Autor całkowicie akceptowalnie przedstawił najważniejsze aspekty swoich badań. Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników badań doprowadziła Doktoranta do sformułowania ośmiu wniosków. Opracowane wnioski z wykonanej pracy doktorskiej są trafne i adekwatne do wyników wykonanych badań i ich interpretacji, świadcząc o umiejętności Doktoranta do syntezy. Ponadto w mojej opinii wnioski zawierają stosunkowo dużą dawkę krytycyzmu w odniesieniu do uzyskanych wyników, co świadczy o dojrzałości Doktoranta i braku chęci do udowadniania „na siłę” przyjętych tez, co wcale nie oznacza że przez to praca jest mniej wartościowa, gdyż jest wręcz przeciwnie.

Podsumowując, pomimo zgłaszanych powyżej uwag krytycznych, w mojej opinii Pan mgr inż. Arkadiusz Janus wykazał się znajomością wielu metod badawczych oraz opanowaniem umiejętności ich zastosowania do uzyskania ciekawych i wartościowych wyników. W mojej opinii zrealizowany zakres badań należy ocenić bardzo dobrze. Natomiast dyskusję wyników badań i umiejętność wyciągania na jej podstawie wniosków oceniam na dobry z punktu widzenia wymagań stawianych rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

4. Uwagi merytoryczne do dyskusji

Przedstawiona w pkt. 3 niniejszej recenzji ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Arkadiusza Janusa skłania do jej pozytywnej oceny z punktu widzenia wartości naukowej. Jednakże poniżej przedstawiam uwagi krytyczne, co do których proszę Doktoranta o pisemne ustosunkowanie się:

1. W pracy odległość pomiędzy gałęziami dendrytów fazy $\alpha(\text{Al})$ oznaczono w mojej opinii niekonsekwentnie symbolem λ_2 (np. na str. 6, 49 i 74) lub λ_{2D} (np. na str. 38) lub λ (str. 108 i 109). Natomiast w tabeli 2.7 ww. parametr oznaczony jest jako DAS, a sposób jego pomiaru przedstawiono w zał.5. W związku, z tym proszę o wyjaśnienie tej nieścisłości i potwierdzenie lub nie, że ww. symbole dot. tego samego parametru rozdrobienia mikrostruktury badanego stopu i były mierzone w sposób przedstawiony w zał.5. Ponadto jeżeli odpowiedź na powyższe pytanie będzie pozytywna, to proszę Doktoranta o uzasadnienie, który z wyżej wymienionych symboli ostatecznie zastosowałby do oznaczenia odległości pomiędzy gałęziami dendrytów fazy $\alpha(\text{Al})$.

2. W praktyce odlewniczej często stężenie zanieczyszczeń, w tym takich składników jak H_2 , O_2 lub N_2 podaje się w ppm. W związku z tym czy istnieje możliwość przeliczenia ilości wodoru wyrażonej w $cm^3/100g$ Al, czyli tak jak stosuje Doktorant w pracy na ppm?
3. W tabeli 2.1 przedstawiono minimalne wartości właściwości mechanicznych jakie musi spełniać odlew felgi samochodowej w określonych miejscach. Podane wartości wytrzymałości są niższe niż wymagane w normie PN-EN 1706 dla stopu AlSi7Mg odlewane kokilowo (jako stop przeznaczony do odlewania pod ciśnieniem gatunek AlSi7Mg nie figuruje w przedmiotowej normie) po obróbce cieplnej w wariantcie T6, tzn. $R_m \geq 260MPa$ i $R_{p0,2} \geq 220MPa$, podczas gdy ciągliwość opisana wydłużeniem jest ponad dwukrotnie wyższa niż min. w normie tzn. $A \geq 1\%$. Ponadto ww. norma definiuje minimalne wymagania dot. twardości $HBS \geq 90$. W związku z tym, nasuwa się pytanie czy wymagania normy PN-EN 1706 są brane pod uwagę przy weryfikacji właściwości mechanicznych badanych felg samochodowych oraz dlaczego nie uwzględnia się twardości?
4. W zaplanowanym w opiniowanej pracy eksperymencie odlewniczym przyjęto czas rafinacji na poziomie 10min. dla wszystkich wariantów rafinacji i modyfikacji. Natomiast w technologii referencyjnej czas rafinacji wynosi 5 min. Proszę o uzasadnienie przyjęcia do badań dwukrotnie zwiększonego czasu rafinacji.
5. W rozdziale 2.12 przedstawiono wyniki badania składu chemicznego odlewów ze stopu AlSi7Mg. Stężenie dodatków modyfikujących Sr i B podane jest z dokładnością do stutysięcznej części %wag.. W związku z tym proszę o odpowiedź czy biorąc pod uwagę zwyczajowo przyjmowaną dokładność pomiaru stężenia poszczególnych składników w stopach odlewniczych w metodzie spektrometrii emisyjnej nie należy ww. wyników zaokrąglić do tysięcznej części %wag.?
6. Podstawę do oceny użyteczności odlewów stanowią przede wszystkim wyniki pomiarów właściwości mechanicznych, które zwyczajowo jednoznacznie kwalifikują dane odlew jako pełnowartościowy lub brak. W opiniowanej pracy ciekawe zestawienie dot. spełniania przez badane odlewy wymagań odnośnie minimalnych wartości R_m , $R_{p0,2}$ i A przedstawiono bardzo przejrzysto w tabeli 2.13, którą jednak pozostawiono bez komentarza i związku z tekstem rozdziału 2.14.2, w którym ją umiejscowiono. Czy ww. tabela nie powinna zostać umieszczona w podsumowaniu dot. właściwości mechanicznych tj. w rozdziale 2.15.2 błędnie zatytułowanym „Właściwości wytrzymałościowe”?
7. W nawiązaniu do uwagi nr 6, czy bazując na analizie uzyskanych wyników badań można wskazać optymalny, najlepszy w analizowanym zakresie, wariant technologiczny odlewania felg samochodowych ze stopu AlSi7Mg? Innymi słowy czy na podstawie uzyskanych wyników badań można opracować kompleksową instrukcję technologiczną odlewania ww. elementu z analizowanego siluminu podeutektycznego?
8. W zaplanowanym w opiniowanej pracy eksperymencie odlewniczym jako jeden z wariantów modyfikacji przyjęto użycie soli zawierających fluorotytanian potasu i fluoroboran potasu. Doktorant jako zaletę ww. soli w porównaniu do modyfikacji przy

użyciu stopów wstępnych tj. AlTi5B wskazuje na możliwość uzyskania średnio mniejszej wielkość podkładek do zarodkowania heterogenicznej fazy $\alpha(\text{Al})$ w postaci TiB_2 . Czy jednak istnieją wady tego typu modyfikacji w porównaniu do wprowadzania Ti i/lub B przy użyciu stopów wstępnych?

9. W rozdziale 2.7.3 przedstawiono wyniki ilościowej i jakościowej analizy wtrąceń niemetalicznych w badanym stopie AlSi7Mg, w oparciu o wyniki badań metalograficznych mikroskopowych w zakresie mikroskopii świetlnej. Do analizy ilościowej nie zgłaszam bezpośrednich uwag, ale do jakościowej zdecydowanie tak. Technika badawcza bazująca na mikroskopie świetlnym nie umożliwia identyfikacji fazowej, szczególnie dyspersyjnych wydzieleni borków Ti czy jak to określono w pracy węglików (Carbides lub Fine carbides). W związku z tym proszę o wyjaśnienie, po pierwsze czy przeprowadzona w pracy analiza jakościowa prowadzona była metodą porównawczą np. z zastosowaniem wzorców mikrostruktury siluminu podeutektycznego, po drugie czy Autor jest w stanie wskazać źródło pochodzenia węgla oraz o węglkach jakich pierwiastków można mówić w przypadku badanego stopu, a także po trzecie proszę o wskazanie przynajmniej dwóch technik badawczych, które uznawane są za wiarygodne w prowadzeniu analizy fazowej składników mikrostruktury w zakresie inżynierii materiałowej.
10. W mojej opinii rozprawa doktorska bardzo dobrze wypełnia lukę badawczą w problematyce rafinacji barbotażowej stopów Al-Si i stanowi uzupełnienie wyników przedstawionych przez innych badaczy w publikacjach, których niestety Doktorant nie cytuje w pracy tzn.:
- D. Dispinar i in. (2010). Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356. *Materials Science and Engineering A*, 527, pp. 3719–3725.
 - A. W. Orłowicz i in. (2009). Influence of refining process on the porosity of high pressure die casting alloy Al-Si. *Archives of Foundry Engineering*, 9(2), pp. 35-40.
 - A. W. Orłowicz i in. (2009). Use of barbotage refining of aluminium-silicon alloy to improve mechanical properties of high pressure die castings. *Archives of Foundry Engineering*, 9(2), pp. 41-44.

Proszę o wyrażenie swojej opinii tzn. czy Doktorant podziela moje zdanie w tym zakresie po zapoznaniu się z ww. publikacjami.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując, uzyskane w opiniowanej rozprawie doktorskiej wyniki badań są interesujące, zarówno z uwagi na ich poznawczy charakter, jak i przede wszystkim ze względu na znaczenie użytkowe. Cele pracy doktorskiej zostały osiągnięte, a jej tezy w zasadzie udowodnione, co skłania mnie do pozytywnej oceny Doktoranta i wykonanej przez niego pracy doktorskiej. Przedstawione w mojej recenzji uwagi krytyczne, czy dyskusyjne należy traktować w większości przypadków bardziej jako przyczynek do wyjaśnienia przez Doktoranta zagadnień, które moim zdaniem nie do końca zostały w pracy dobrze opisane, niż jako uwagi

