

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mariusza Lewandowskiego

Tytuł rozprawy: „Wpływ parametrów odlewania i obróbki cieplnej na kształtowanie struktury i właściwości mechanicznych odlewów ciśnieniowych bloku silnika samochodowego”

Recenzja niniejszej rozprawy została przygotowana na podstawie pisma prof. dr hab. inż. Adama Grajcara Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej w oparciu o uchwałę nr 87/2024 Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa z dnia 26.09.2024 r.

1. Ocena przedmiotu rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Mariusza Lewandowskiego ma charakter wdrożeniowy i dotyczy badania i opracowania właściwej technologii odlewania wysokociśnieniowego stopu aluminium AlSi9Cu3(Fe), przy jednoczesnym zwiększeniu udziału złomu obiegowego oraz osiągnięcie poprzez dobór odpowiednich parametrów obróbki cieplnej wysokich wymagań mechanicznych (głównie R_m oraz A_5) narzuconych przez Firmę Nemark Polska, dla odlewu korpusu silnika spalinowego. Celowość podjęcia badań w tym zakresie wynika, z realnych potrzeb przemysłu motoryzacyjnego oraz z szybkiego rozwoju wytwarzania szeregu elementów konstrukcyjnych pojazdów mechanicznych (min. karoserii czy silników spalinowych) z lekkich stopów aluminium zastępujących ciężkie elementy stalowe. Odlewy, takie zwane potocznie strukturalnymi, charakteryzują się zazwyczaj dużymi powierzchniami i cienkimi ściankami, co wiąże się z koniecznością modyfikacją klasycznej technologii odlewania i stosowania obróbki cieplnej tych odlewów. Wytworzone odlewy z lekkich stopów na bazie aluminium z powodzeniem zastępują elementy stalowe wpływając na zmniejszenie masy i wyeliminowanie kosztownych operacji technologicznych, takich jak spawanie, połączenia nitowe czy śrubowe czy klejenie, koniecznych w przypadku elementów stalowych. Specyfika odlewania wysokociśnieniowego odlewów strukturalnych ze stopów aluminium związana jest z analizą wpływu dużej prędkości wypełniania wnęki formy, co prowadzić może do powstawania wad odlewu takich, jak na przykład powstawanie porowatości skurczowej i gazowej odlewu. Ponadto zwiększona szybkości krzepnięcia metalu w formie, wiąże się z znacznym rozdrobnieniem struktury korzystnie wpływającym na właściwości wytrzymałościowe, ale niekorzystnie na właściwości plastyczne. Dlatego też odpowiedni dobór parametrów obróbki cieplnej, składających się z zabiegów przesycania i starzenia tych

uzyskanych odlewów ze stopów aluminium, może zapewnić zakładane przez Firmę Nematik Polska, wymagane właściwości plastyczne i wytrzymałościowe. Osiągnięcie wymaganych właściwości wytrzymałościowych dla korpusu silnika spalinowego, przy jednoczesnym zwiększeniu udziału złomu obiegowego jest zasadniczym celem ocenianej pracy. Odpowiednia korelacja właściwości wytrzymałościowych i plastycznych, wymaga badań ukierunkowanych na opracowanie optymalnych parametrów stosowanej obróbki cieplnej umacniania wydzieleniowego z zastosowaniem procesów przesycań i starzenia. Te powyżej wymienione zagadnienia nie zostały do tej pory całościowo opracowane teoretycznie i praktycznie. Dlatego też, uważam, że zagadnienia zawarte w recenzowanej dysertacji doktorskiej mają wartości poznawcze i innowacyjnej z dużymi możliwościami wdrożenia uzyskanych wyników do praktyki przemysłowej. Nadmienić również należy, że wykazany w pracy 70% udział złomu obiegowego zastosowany w drugim wytopie nie wskazywał istotnych różnic w składzie chemicznym, w odniesieniu do wytopu z udziałem tylko 20%. Ma to wszelkie znamiona innowacyjności zaproponowanego w pracy procesu technologicznego i niewątpliwie podnosi jej wartość z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia.

Wybór tematyki badań jest w pełni uzasadniony, a praca całkowicie mieści się w prekursorskim obszarze badań naukowych, wykonywanych w zakładach przemysłowych. Proponowane w pracy rozwiązanie wynikają między innymi z limitów i obostrzeń nakładanych min. przez Unię Europejską, które stawiają coraz większe wymagania jakościowe odlewom ze stopów aluminium, dotyczące poprawy efektywności energetycznej oraz ograniczeń ze względów środowiskowych, co w pełni uzasadnia podjęcie badań w tym zakresie.

2. Charakterystyka ogólna

Rozprawa doktorska mgr inż. Mariusza Lewandowskiego zredagowana jest w tradycyjny sposób z podziałem na bardzo dobre wprowadzenie do tematyki pracy, część literaturową, genezę problemu, analizę stanu faktycznego, część doświadczalną i wyniki badań własnych. Praca liczy ogółem 101 stron z podziałem na 10 rozdziałów: rozdział 1 - wprowadzenie (6 strony), rozdział 2 – przegląd literatury (23 strony), rozdział 3 – geneza problemu (13), rozdział 4 – analiza stanu faktycznego (13 strona), rozdział 5 teza, cele pracy (1 strona), rozdział 6 plan badań (3 strony), rozdział 7 – materiał oraz metodyka badań (4 strony), rozdział 8 – wyniki badań i ich analiza (41stron), rozdział 9 – podsumowanie i wnioski (2 strony), rozdział 10 – bibliografia (5 stron).

Całość zakończona jest spisem literatury, który moim zdaniem niepotrzebnie został oznaczony jako rozdział 10. Zwykle w tego typu rozprawach podrozdział „bibliografia” nie jest

wyodrębniony kolejnym numerem. Rozprawa zawiera również streszczenie w języku polskim i angielskim, co jest wymogiem w odniesieniu do tego typu prac. Ponadto w pracy Autor zamieścił 82 rysunki, 18 tabel. W rozprawie zacytowano 80 pozycje bibliograficzne, w większości jest to literatura źródłowa i pochodzi z ostatnich 15 lat (ponad 80%). Autor rozprawy nie jest współautorem cytowanych publikacji.

Treść pracy w pełni odpowiada tytułowi. Około 47% objętości treści pracy poświęcone jest rozpoznaniu literaturowemu, genezie problemu oraz analizie stanu faktycznego reszta omówieniu metodyki badań, wynikom badań własnych oraz ich analizie. Zastosowana w pracy terminologia jest właściwa, symbolika również.

3. Charakterystyka szczegółowa

3.1. Tytuł i tematyka pracy

Tytuł pracy dobrze odzwierciedla różnorodne, szeroko zakrojone prace empiryczne składające się na treść rozprawy. Tematyka pracy jest oryginalna, aktualna i naukowo uzasadniona. Zastosowanie stopów aluminium na bloki silnika samochodowego i inne komponenty pojazdów mechanicznych dotychczas wykonywanych ze stali pozwala na znaczną redukcję masy własnej pojazdów.

Przedstawione we wprowadzeniu informacje stanowią niejako uzasadnienie wyboru tematyki pracy doktorskiej i uzasadniają celowość podjęcia badań nad modyfikacją technologii wysokociśnieniowego odlewania bloku silnika samochodowego. Ponadto we wprowadzeniu w ogólnym zarysie przedstawiono ramy realizacji pracy doktorskiej.

Problematykę recenzowanej rozprawy doktorskiej uznać należy jako trafną, tak z punktu widzenia poznawczego, jak również praktycznego, ze względu na możliwość wykorzystania opracowanej technologii do seryjnej produkcji obudowy bloku silnika spalinowego ze stopu aluminium $AlSi9Cu3(Fe)$ charakteryzującej się lepszymi właściwościami wytrzymałościowymi i plastycznymi od dotychczas wymaganych, przy jednoczesnym znacznym zwiększeniu udziału złomu obiegowego, zgodnie z wymogami Klienta Firmy NemaK Polska.

W świetle przedstawionych uwarunkowań za uzasadnione wydaje się podjęcie przez Autora recenzowanej rozprawy doktorskiej badań nad opracowaniem technologii wysokociśnieniowego odlewania bloku silnika spalinowego z w/w stopu aluminium.

3.2. Stan zagadnienia

Odlewy strukturalne są to elementy konstrukcyjne zwłaszcza pojazdów samochodowych

(karoserie, bloki silników, pompy, itd.). W skład elementów konstrukcyjnych pojazdów wchodzi również części otrzymane w wyniku przeróbki plastycznej, nie tylko z aluminium, magnezu, stopów innych metali, jak również elementy z kompozytów, tworzyw sztucznych, polimerów i materiałów ceramicznych.

W związku z wymogiem zmniejszenia emisji CO₂ i NO_x, co narzucają kolejne Euro Normy, konieczne jest obniżenie zużycia paliw płynnych przez samochody, co można uzyskać na drodze obniżenia masy własnej pojazdu. Jak podają autorzy opracowań zajmujących się tą problematyką od lat 60-tych ubiegłego wieku średnia masa samochodu osobowego wzrosła o ponad 60%. Przy czym wzrost masy tych pojazdów nie wynika jedynie ze wzrostu ich gabarytów, ale związana jest między innymi z instalacją w pojazdach systemów bezpieczeństwa (poduszki powietrzne, ABS, stabilizatory trakcji jazdy, wzmocnienia czołowe i boczne) oraz dużej ilości elektroniki. Ponadto wzrost masy własnej pojazdów związany jest ściśle ze wzrostem mocy obecnych silników, co wymaga stosowania elementów pozwalających tą moc kontrolować. Dla przeniesienia większej mocy niezbędne są większe średnice kół, tarcz hamulcowych, które wymagają cięższych zacisków. Większe koła to zwiększenie wymiarów wahaczy, amortyzatorów. Ponadto wszelkiego rodzaju elementy zwiększające komfort jazdy, jak np. klimatyzacja, elektrycznie otwieranie szyb, klap bagażnika oraz inne jak np. turbosprężarki, intercoolery, systemy kontrolujące emisję spalin, katalizatory oraz wiele innych elementów wyposażenia, które są obecnie w wyposażeniu standardowym zwiększają masę pojazdów. Aktualnie koncerny samochodowe starają się ograniczyć wzrastającą masę własną pojazdów poprzez projekty mające doprowadzić do zmniejszenia masy pojazdów o 20%, co odpowiada redukcji emisji spalin 20 g CO₂/km. Wymogiem tych koncernów jest zbudowanie lekkiego pojazdu dzięki zastosowaniu zaawansowanych, lekkich materiałów konstrukcyjnych, w skład wchodzi między innymi: aluminium i stopy aluminium, stale wysokiej wytrzymałości, tworzywa sztuczne oraz kompozyty wzmocniane włóknami węglowymi.

Analiza obecnego stanu wiedzy w obszarze konstrukcji, technologii i eksploatacji potwierdza w dużym stopniu pogląd, że postęp techniki w XXI wieku wciąż zależy od rozwoju materiałów i technologii materiałowych oraz metod modyfikacji materiałów zapewniających nie tylko odpowiednią trwałość eksploatacyjną, ale ich efektywność z ekonomicznego punktu widzenia. Recenzowana rozprawa doktorska wystarczająco spełnia omówione założenia.

W przeglądzie literatury w części pierwszej przedstawiono charakterystykę maszyn ciśnieniowych i szczegółowy zarys technologii odlewania ciśnieniowego. Ponadto scharakteryzowano stosowane w odlewnictwie stopy aluminium ze szczególnym uwzględnieniem stopu AlSi9Cu3(Fe), który został zastosowany na odlewy ciśnieniowe bloku

silnika samochodowego.

Wybór zagadnień, ujmujących współczesną problematykę dotyczącą wysokociśnieniowych odlewów ze stopów aluminium, jest dobrze umotywowany literaturowo i bezpośrednio związany z założeniami badawczymi przyjętymi w pracy.

W rozdziale 3 „Geneza problemu”, Autor dysertacji w zwięzły sposób zawarł najważniejsze informacje, które były inspiracją do podjęcia działań, które zostały przedstawione w recenzowanej pracy. Po pierwsze, tzw. Klient zewnętrzny zlecił w/w firmie opracowanie procesu technologii odlewania wysokociśnieniowego oraz jego wdrożenia do produkcji seryjnej obudowy bloku silnika spalinowego, który zgodnie z zaleceniem Klienta miał być wykonany ze stopu aluminium $AlSi9Cu3(Fe)$. Spełnienie tych wymagań wymusiło rozwiązanie dwóch problemów. Pierwszy dotyczył zwiększenia minimalnego udziału złomu obiegowego z dotychczasowych 20 -70% do ilości 60-70%. Drugi dotyczył zwiększenia właściwości wytrzymałościowych z dotychczasowego $R_m=190$ MPa do wartości >210 MPa oraz wydłużenia z $A_5=0.8\%$ do $A_5 \geq 1\%$. Rozwiązanie powyższych zagadnień było kluczowe dla spełnienia wymagań Klienta Firmy Nemark Polska i stanowiło zarazem główną tematykę pracy doktorskiej Doktoranta.

Rozdział 4 „Analiza stanu faktycznego” zawiera opis procesu produkcyjnego, którego produktem finalnym jest odlew korpusu silnika spalinowego, odlewane z podeutektycznego stopu aluminium $AlSi9Cu3(Fe)$ oraz co jest istotne dla prawidłowej realizacji dalszego przebiegu pracy, analizę dotychczasowych danych jakościowych wykonywanych odlewów. Na podstawie analizy w/w zagadnień przeprowadzono ocenę modelu produkcyjnego, która wykazała, że dla uzyskania odpowiedniej mikrostruktury odlewu oraz wymaganych właściwości wytrzymałościowych prowadzone prace powinny się skupić na dwóch newralgicznych etapach produkcyjnych:

- przygotowaniu ciekłego stopu w piecu topialnym ze szczególnym uwzględnieniem ilości złomu obiegowego,
- pobieraniu ciekłego metalu z pieca.

Zestawienie w ten sposób danych o procesie technologicznym analizowanego odlewu miało podstawowe znaczenie dla określenia zakresu prac w ramach pracy doktorskiej.

3.3. Tezy pracy i cele pracy oraz plan badań

W oparciu o przedstawiony przegląd literatury, genezę problemu oraz wnioski wyciągnięte z analizy stanu faktycznego dotychczasowej technologii odlewania

podeutektycznego stopu $AlSi9Cu3(Fe)$, Autor w rozdziale 5 sformułował następującą tezę pracy:

Odpowiednio dobrane parametry technologiczne ciekłego stopu $AlSi9Cu3(Fe)$ w piecu podgrzewczym zintegrowanym z maszyną wysokociśnieniową mają istotny wpływ na strukturę i poprawę właściwości mechanicznych wysokociśnieniowych odlewów korpusów silników spalinowych.

Dla udowodnienia wyżej wymienionych tez Autor rozprawy zaproponował następujące cele Pracy:

- Cel naukowy: określenie wpływu złomu obiegowego w ciekłym stopie (20% i 70%) na strukturę i właściwości odlewów ciśnieniowych ze stopu $AlSi9Cu3(Fe)$.
- Cel technologiczny: określenie wpływu zmiany poziomu ciekłego stopu w piecu podgrzewczym przy maszynie odlewniczej na właściwości wytrzymałościowe oraz mikrostrukturę odlewów wysokociśnieniowych.
- Cel konstrukcyjny: zastosowanie innowacyjnego rozwiązania konstrukcyjno-technologicznego zwiększającego jakość odlewów poprzez redukcję wpływu ciężkich pierwiastków stopowych (głównie ołów).

Dla zweryfikowania tezy pracy i osiągnięcia założonych celów przyjęto trzyetapowy plan badań – przedstawiony w rozdziale 6. Celem pierwszego etapu była ocena wpływu skrajnych ilości złomu obiegowego, 20% i 70% na jakość odlewów. W ramach tego etapu przeprowadzono badania składu chemicznego, indeksu gęstości ciekłego stopu, badań mikroskopowych i statycznej próby rozciągania, której wyniki odniesiono do jednego z głównych celów rozprawy – uzyskania wytrzymałości na rozciąganie $R_m = \text{min. } 210 \text{ MPa}$ oraz wydłużenia $A = \text{min. } 1\%$. Celem drugiego etapu było określenie wpływu zmiany poziomu ciekłego stopu w piecu podgrzewczym przy maszynie odlewniczej na właściwości wytrzymałościowe oraz mikrostrukturę odlewów. Analizowano wyniki składu chemicznego oraz indeksu gęstości ciekłego stopu w piecu podgrzewczym. Natomiast trzeci etap dotyczył wdrożenia przygotowanego rozwiązania oraz jego weryfikacji w odlewaniu seryjnym. Badania w tym etapie obejmowały analizę składu chemicznego stopu oraz weryfikację właściwości mechanicznych odlanych elementów.

Stwierdzić należy, że te zadania badawcze mają podstawowe znaczenie dla recenzowanej rozprawy doktorskiej, tak z punktu widzenia poznawczego, jak i praktycznego, są oryginalnym

osiągnięciem naukowym niniejszej rozprawy oraz nadają jej charakter nowości naukowej. Uważam, że zakres opiniowanej pracy spełnia wymagania stawiane badaniom będącymi podstawą rozpraw doktorskich.

3.4. Metody badawcze

W rozdziale 7 „Materiał oraz metodyka badań” - metodyka badań została szczegółowo opisana. Zastosowane w rozprawie metody badawcze są wystarczające dla zrealizowania założonych celów pracy. Doktorant wykorzystał nowoczesną aparaturę i stosował metody, jakich można oczekiwać w tego rodzaju pracy. Każda z zastosowanych metod badawczych miała merytoryczne uzasadnienie i służyła dowiedzeniu tezy pracy. Doktorant ponadto precyzyjnie opisał materiał użyty do badań. Metodyka badań nie budzi zastrzeżeń, a wszystkie techniki badawcze zastosowano celowo. Wątpliwości a w zasadzie niedosyt może jedynie budzić pobieżne potraktowanie metodyki obróbki cieplnej.

3.5. Wartość merytoryczna pracy

Część badawczą Doktorant, podzielił na trzy główne etapy zgodnie z przyjętym wcześniej planem badań.

W pierwszym etapie oceniono wpływ zawartości złomu obiegowego w ciekłym stopie na jakość odlewów. Badaniom poddano dwa wytopy zawierające odpowiednio 20 i 70% złomu obiegowego. Analiza składu chemicznego nie wykazała istotnych różnic pomiędzy tymi wytopami. Badania właściwości mechanicznych wykazały zbliżone wartości $R_m = 218$ MPa dla 20% udziału złomu wtórnego i 217 MPa dla 70% udziału złom, wartości wydłużenia wynosiły odpowiednio $A_5 = 1,13\%$ i $A_5 = 1,12\%$.

Analiza strukturalna wykazała według Autora recenzowanej pracy występowania podobnych składników strukturalnych czyli dendrytów roztworu stałego α -Al oraz mieszaniny eutektycznej α -Al+ β -Si zlokalizowanej w przestrzeniach międzidendrytycznych. Ponadto Doktorant za pomocą mikroskopii świetlnej oraz skaningowej, stwierdził występowanie licznych wydzieleni faz międzymetalicznych o zróżnicowanej morfologii oraz obecność porów skurczowych i gazowych.

W etapie tym enigmatycznie analizowano obróbkę cieplną wykonywaną wg wymagań Klienta. Autor pracy stwierdza, że obróbka ta nie wpływa znacząco właściwości mechaniczne, spełniając zakładane minimalne wymagania Klienta Firmy Nematik Polska czyli $R_m > 200$ MPa oraz $A_5 \geq 1\%$.

Najistotniejszym stwierdzeniem po badaniach wykonanych w tym etapie wydaje się to, że zawartość złomu wtórnego w wytopie nie wpływa na właściwości mechaniczne odlewów bloku

silnika. Autor rozprawy sugeruje, że wpływa na to wysoka jakość złomu będącego produktem Firmy Nematik Polska.

W drugim etapie badań Doktorant analizuje zmieniający się poziom ciekłego stopu w piecu podgrzewczym, upatrując w nim przyczyn zaniżonych właściwości mechanicznych stwierdzonych w przeprowadzonej analizie wstępnej. Na podstawie przeprowadzonych w tym etapie badań właściwości wytrzymałościowych i metalograficznych Autor rozprawy jednoznacznie stwierdza, że bardzo istotne znaczenie dla stabilności właściwości mechanicznych odlewów wykonanych z badanego stopu aluminium ma poziom ciekłego stopu w piecu. Niski poziom stopu oraz jego obniżona temperatura do 660⁰C, spowodowana takimi czynnikami technicznymi jak przestój pieca z ciekłym stopem czy brak ruchu mieszającego wpływa na zwiększenie udziału objętościowego cząstek ołowiu. Skutkuje to obniżeniem zarówno właściwości wytrzymałościowych jak i plastyczności odlewów. Ustalenie przyczyn obniżonych właściwości mechanicznych analizowanego stopu skłoniło Doktoranta do przygotowania szeregu założeń projektowych, mających na celu zredukowanie wpływu ołowiu, na pogorszenie właściwości mechanicznych. Po przeanalizowaniu wielu możliwych rozwiązań technologicznych zdecydowano o instalacji nowatorskiego, prototypowego systemu dozowania AVD (Aluminium Vacuum Dosing), o pojemności wtrysku 40 kg, dedykowanego dla Nematik Polska.

W etapie trzecim przeprowadzono badania mające na celu weryfikację wdrożonego systemu dozowania w odlewaniu seryjnym. Badania te jednoznacznie wykazały, że zastosowanie nowego systemu dozowania ograniczyło negatywny wpływ ołowiu i zapewniło wymaganą przez Klienta Firmy Nematik Polska poziom właściwości mechanicznych odlewu bloku silnika spalinowego.

Zaproponowane przez Autora rozprawy wnioski, są zgodne z wynikami eksperymentów oraz ich wcześniejszą analizą.

Podkreślić należy, iż treść rozprawy wskazuje, że jej realizacja przebiegała zgodnie z przyjętym oraz dobrze przygotowanym i obszernym zakresem badań. Ponadto część doświadczalna rozprawy została szczegółowo usystematyzowana. Jest to niezbędne, gdyż obszar badawczy jest bardzo obszerny, a Autor pracy wykorzystał w nim wiele różnych metod badawczych. Z uwagi na złożony charakter zachodzących procesów, właściwy dobór metod miał decydujące znaczenie dla powodzenia pracy. Ponadto stwierdzić należy, że część badawcza rozprawy uwidacznia wyraźnie inwencję i dociekliwość Doktoranta.

3.6. Oryginalność naukowa rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Mariusza Lewandowskiego jest pracą oryginalną, mającą istotne znaczenie ze względów poznawczych i aplikacyjnych.

Oryginalnym elementem rozprawy jest odpowiedni dobór technologii i sposobów odlewania bloku silnika samochodowego. Wymagało to wielu analiz danych jakościowych i modelu produkcyjnego dotychczas stosowanych w Firmie Nemark Polska. Ponadto za osiągnięcie tej pracy należy uznać wprowadzenie aż 70% złomu obiegowego do seryjnej produkcji odlewów.

Uzyskane wyniki stanowią niewątpliwy dowód na przydatność zastosowanego rozwiązania do procesów modyfikacji technologii wysokociśnieniowego odlewania bloków silnika samochodowego.

3.7. Stopień rozwiązania zagadnienia

Stopień rozwiązania zagadnienia oceniam, jako w pełni satysfakcjonujący. Dla udowodnienia tezy przyjętej w pracy Autor wykonał badania, stosując wiele różnych metod badawczych niezbędnych do oceny wybranych właściwości mechanicznych bloków silnika samochodowego.

Doktorant w trakcie realizacji pracy wykazał się sprawnością techniczną co wymagało gruntownej Jego wiedzy w przedmiocie badań oraz dużej pomysłowości w rozwiązywaniu problemów technologicznych i technicznych.

3.8. Układ treści i opracowania edytorskiego

Układ treści rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Mariusz Lewandowskiego jest układem typowym dla rozpraw doktorskich w dziedzinie nauk inżynierjno – technicznych. Drobnym mankamentem są występujące błędy stylistyczne i interpunkcyjne. Struktura pracy jest prawidłowa, kolejność rozdziałów dobrana jest poprawnie. Należy podkreślić dobrą przejrzystość i czytelność rysunków i tabel (oprócz rys. 49 str. 53, który w moim przypadku wymagał zastosowania lupy o znacznym powiększeniu).

3.9. Uwagi i zapytania

Ogólnie, wysoka ocena merytorycznej wartości rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Mariusza Lewandowskiego nie zwalnia od pewnych uwag, które nasunęły się w czasie jej czytania.

Uwaga 1: W tabeli 7. „Skład chemiczny stopu AlSi9Cu3(Fe)” podano, że zawartość

żelaza mieści się w przedziale 0,7 – 1,0%. Żelazo jak wiadomo tworzy jednak niekorzystne fazy np. FeAl_3 , Al_5FeSi oraz $\alpha\text{-Al}_{15}(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Si}_2$, w postaci igieł, które niekorzystnie wpływają na właściwości wytrzymałościowe odlewu. Czy wysoka zawartość żelaza sięgająca 1,0% w stosowanym stopie aluminium nie spowodowała występowania w/w faz.

W latach 90-tych XX wieku niemiecka firma Rheinfelden opracowała pierwszy stop aluminium do odlewów strukturalnych o zawartości żelaza max. 0,15%, w którym niewielka ilość żelaza, jest zastępowana manganem w ilości 0,5-0,8% co zapobiega przywieraniu odlewu do formy. W zastosowanym stopie nie występuje jednak taka ilość manganu.

Uwaga 2: Wątpliwości może zwłaszcza budzić pobieżne potraktowanie metodyki obróbki cieplnej. Stwierdzenie podane przez Autora recenzowanej rozprawy cyt. „Obróbka cieplna była wykonywana zgodnie z parametrami Klienta, których nie można udostępnić. Można ją sklasyfikować jako T5 i jej celem jest zmniejszenie naprężeń wewnętrznych w odlewie korpusu powstałych w czasie procesie odlewania. Odlewy testowane były obrabiane w grupach po 1–5 odlewów”.

Takie wyjaśnienie istotnej części pracy zasygnalizowanej ponadto w jej temacie budzi pewne obawy. Sklasyfikowanie obróbki cieplnej stopu aluminium jako T5, pozwala na stwierdzenie, że zgodnie z normą PN-EN „Oznaczenie stanów umocnień aluminium” analizowany odlew ze stopu aluminium był powoli schładzany z podwyższonej temperatury procesu krystalizacji, a następnie sztucznie starzony. Taka klasyfikacja wskazuje, że odlew poddany był utwardzaniu wydzieleniowemu, a nie jak podaje Autor rozprawy, wyżarzaniu odprężającemu, chociaż nie można twierdzić, że podczas takiego zabiegu obróbki cieplnej, niejako przy okazji zachodzi proces minimalizacji stanu naprężeń wewnętrznych odlewu. O odpowiedniej korelacji właściwości wytrzymałościowych i plastycznych – notabene wymaganych przez Klienta zewnętrznego - decydują zwłaszcza parametry procesu utwardzania wydzieleniowego, których Doktorant nie podaje, zasłaniając się klauzulą poufności wymaganą przez Klienta. Ponadto, w podrozdziale 8.2, gdzie Autor analizował poziom ciekłego metalu w piecu, głównie w odniesieniu do udziału i liczby cząstek ołowiu, pada stwierdzenie, że cyt. „zauważalny jest trend spadku właściwości mechanicznych, wraz ze zmniejszaniem się poziomu ciekłego stopu w piecu, co skutkuje obniżeniem wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie poniżej wymaganych przez Klienta wartości”.

Nasuwa się w związku z powyższym pytanie czy mała ilość w piecu cieczy odlewniczej nie powodowała wzrostu ilości i wielkości cząstek faz międzymetalicznych występujących w analizowanym stopie aluminium, które podczas przesycania nie rozpuściły się całkowicie w

osnowie, co wpłynęłoby na pogorszenie się plastyczności. Ilość i wielkość zwykle twardszych od osnowy faz międzymetalicznych ma istotne znaczenie przy ustalaniu parametrów utwardzania wydzieleniowego. Czy Doktorant oprócz badania wpływu cząstek ołowiu, analizował wpływ ilości i wielkości cząstek faz międzymetalicznych.

4. Wniosek końcowy

Wymienione w recenzji uwagi nie obniżają wysokiej oceny merytorycznej tej pracy. Podsumowując opinię rozprawy doktorskiej mgr inż. Mariusza Lewandowskiego stwierdzam, że tematyka rozprawy została trafnie wybrana z uwagi na jej naukową aktualność, a badania wniosły nowe treści, zarówno poznawcze, a zwłaszcza aplikacyjne.

Stwierdzam ponadto, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mariusza Lewandowskiego spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, ponieważ:

- sformułowano problemy badawcze i określono jego cele,
- zaplanowano i zrealizowano badania stosując niezbędne narzędzia naukowe według przyjętej metodyki badań, co dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta,
- zinterpretowano uzyskane wyniki i sformułowano wnioski, co wskazuje na szeroką ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta,
- Doktorant osiągnął cele pracy, a uzyskane wyniki wnoszą oryginalny wkład naukowy i praktyczny w teorię a zwłaszcza w praktykę odlewania ciśnieniowego stopów aluminium.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. *„Wpływ parametrów odlewania i obróbki cieplnej na kształtowanie struktury i właściwości mechanicznych odlewów ciśnieniowych bloku silnika samochodowego”* spełnia wymogi określone w Ustawie o stopniach i tytule naukowym. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Mariusza Lewandowskiego do publicznej obrony tej rozprawy.

Tadeusz Frączek