

Imię i nazwisko recenzenta:

Halina Garbacz

Dane adresowe:

Wydział Inżynierii Materiałowej

Politechnika Warszawska

Ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa

15.10.2024, Warszawa

(data i miejsce)

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Mariusza Lewandowskiego

(imię i nazwisko doktoranta)

pod tytułem „*Wpływ parametrów odlewania i obróbki cieplnej na kształtowanie struktury i właściwości mechanicznych odlewów ciśnieniowych bloku silnika samochodowego*”

przygotowanej pod kierunkiem:

dr. hab. inż. Andrzeja Kiełbusa, prof. PŚ

(imię i nazwisko promotora)

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie i w oparciu o uchwałę nr 87/2024 Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 26 września 2024 r. Podstawa prawna: postępowanie wg nowego trybu, na podstawie art. 190 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.)

2. Ocena problematyki badawczej i zakresu pracy

Branża motoryzacyjna jest jedną z najbardziej dynamicznych i innowacyjnych gałęzi gospodarki, która nieustannie dostosowuje się do zmiennych potrzeb i oczekiwań klientów oraz regulacji prawnych. Musi stawić czoła wielu wyzwaniom, zarówno technologicznym, jak i rynkowym, które mają wpływ na jej sytuację i prognozy. Głównym trendem w projektowaniu pojazdów jest wymuszana przez coraz bardziej restrykcyjne normy środowiskowe (w tym UE), redukcja masy własnej pojazdów. W przypadku samochodów spalinowych pozwala to na zmniejszenie emisji spalin, zaś w samochodach elektrycznych i hybrydowych – ograniczenie

potrzeby ładowania przy zwiększeniu zasięgów. Jednym ze sposobów zmniejszania masy jest zwiększenie w konstrukcjach pojazdów udziału stopów metali lekkich.

Rosnące wymagania dotyczące zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska narzucają także zwiększenie udziału złomu w produkcji komponentów, w tym metodą odlewania ciśnieniowego. Metoda ta, jest jedną z głównych technologii produkcyjnych w branży samochodowej dla stopów aluminium, w związku z czym nacisk na bardziej ekologiczną produkcję w tym obszarze jest duży.

Wybór tematu pracy doktorskiej jest odpowiedzią na realne potrzeby przemysłu motoryzacyjnego w zakresie modyfikacji technologii odlewania wysokociśnieniowego stopu aluminium $AlSi9Cu3(Fe)$ i w mojej opinii jest w pełni uzasadniony. Zwiększenie udziału złomu w produkcie końcowym ma nie tylko znaczenie ekologiczne, ale również ekonomiczne. Celem głównym pracy było osiągnięcie narzuconych wymagań właściwości mechanicznych dla odlewu korpusu silnika spalinowego, przy jednoczesnym zwiększaniu udziału złomu własnego w składzie danego produktu. Doktorant podjął próbę weryfikacji w warunkach przemysłowych firmy NemaK Polska, czy zwiększenie udziału złomu w produkcie wpłynie negatywnie na właściwości mechaniczne odlewów oraz na stabilność procesu produkcji.

Temat i treść rozprawy dotyczy aktualnego problemu badawczego z obszaru inżynierii materiałowej, w szczególności wpływu procesu technologicznego na mikrostrukturę i właściwości, istotnej aplikacyjnie grupy materiałów jakimi są stopy aluminium. Autor wykazał się znajomością obowiązujących trendów w projektowaniu pojazdów oraz oczekiwań w stosunku do nowych i już stosowanych materiałów metalicznych oraz technologii, potwierdzając swoją aktualną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria materiałowa, w szczególności w obszarze stopów aluminium.

3. Ocena formalna rozprawy

Praca doktorska została napisana w języku polskim w formie typowej dla tego rodzaju opracowań, liczy 101 stron i składa się z 10 rozdziałów, wliczając w to Bibliografię. W Przeglądzie Literatury Autor skupia się na obszarach związanych z tematyką pracy. Rozpoczyna od charakterystyki maszyn ciśnieniowych, przedstawia ogólne zasady działania oraz zalety i wady technologii odlewania ciśnieniowego. Kolejne podrozdziały dotyczą odpowiednio systemów dozowania ciekłego stopu do maszyn zimno-komorowych i stopów aluminium wykorzystywanych w odlewnictwie ciśnieniowym. Rozdziały 3; 4 i 5 stanowią ważną część pracy. Autor przedstawia genezę problemu badawczego wraz z analizą stanu faktycznego, uzasadniając przyjętą tezę i cele pracy. Treści zawarte w teoretycznej części rozprawy były podstawą do przyjętego podejścia badawczego, wyboru narzędzi oraz sformułowania wniosków. W drugiej, eksperymentalnej części przedstawiona została metodyka badawcza oraz wyniki uzyskane przez Autora wraz z ich analizą, zakończone podsumowaniem i wnioskami. Kolejność rozdziałów jest właściwa, a układ treści w poszczególnych

podrozdziałach logiczny i powiązany ze sobą. Rozprawa zawiera Bibliografię, składającą się z 80 pozycji, w tym ponad 80 % anglojęzycznych. Praca doktorska została napisana poprawnym językiem, wzbogacona przemyślanym, pogładowym i bardzo pomocnym materiałem ilustracyjnym, zawierającym 82 rysunki oraz 18 tabeli. Autor preferował ujęcie treści w punktach, wykazując się umiejętnością syntetycznej prezentacji uzyskanych wyników badań.

Poniżej zamieszczam wybrane uwagi, które dotyczą części edycyjnej pracy:

1. W języku polskim nie ma słowa „przeprojektować”- str. 6
2. W rozdziale „Wprowadzenie” znajduje się podsumowanie wyników pracy, co rzadko zdarza się w pracach doktorskich i stanowi pewne zaprzeczenie tytułu rozdziału.
3. Nie można porównywać ciśnienia do prędkości- podpis pod Rys. 6.
4. Może być wysoki koszt, wysokie kwalifikacje, ale już nie „wysoka ilość parametrów procesu”- str.13.
5. Jaką temperaturę topnienia ma magnez? Autor zaliczył stopy Mg jednocześnie do materiałów o niskiej i wysokiej temperaturze topnienia? Czy można je odlewać z zastosowaniem odlewania ciśnieniowego zarówno gorąco, jak i zimno-komorowego? – Tab.1
6. Nie ma pierwiastka chemicznego aluminium – str. 25.
7. Podpis pod Rys. 21 nie jest właściwy.
8. Jaki jest obowiązujący symbol umownej granicy plastyczności- Tab.5?
9. Nazwa firmy „Nemak polska” zamiast Nemak Polska – str. 77
10. Błędy stylistyczne/literówki, np.: str. 13 - „sposobie regulowania zamiast sposobu regulowania”, str. 16 - „zróznicowane systemu” zamiast zróżnicowane systemy, „automatyczna wyjmowanie odlewu” zamiast automatyczne, str. 68 - „przyczyna musi mieć inną przyczynę”, Tab.14- brakuje liter na nagłówku, str. 88 – „pojemnik zjeżdża w dół”, str. 91 - , „System nie wydłużył czas cyklu...” zamiast czasu cyklu.

4. Ocena merytoryczna pracy

W niniejszej rozprawie badanym materiałem był stop aluminium $AlSi9Cu3(Fe)$ przeznaczony do odlewania wysokociśnieniowego. Analizę składu chemicznego, przy użyciu optycznego spektrometru emisyjnego i pomiary indeksu gęstości, prowadzono na próbkach pobranych po zakończeniu przygotowania ciekłego stopu w piecu topialnym i z pieca podgrzewczego przed rozpoczęciem procesu odlewania.

Charakterystykę właściwości mechanicznych oraz analizę mikrostruktury dokonano na fragmentach wyciętych z odlewów bloku silnika spalinowego, zgodnie ze standardami badań jakości odlewów w praktyce przemysłowej. Do badań mechanicznych wykorzystano próbki o geometrii zgodnej z normą ASTM B557M, a statyczne próby rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z050 wg normy PN-EN ISO 6892. Testy odbywały się w temperaturze pokojowej i z zastosowaniem ekstensometru. Preparatyka zglądów metalograficznych była zgodna z procedurami, a analizę mikrostruktury stopu Autor prowadził

w różnej skali: przy użyciu mikroskopu świetlnego oraz z zastosowaniem skaningowej mikroskopii elektronowej. Analiza składu chemicznego w mikroobszarach prowadzona była metodą spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego. Duży nacisk położony został na ilościową analizę cząstek/wydzieleń zawierających ołów. Ocena prowadzona była na obrazach zarejestrowanych przy pomocy powierzchniowej analizy EDS i SEM, dokonując w końcowym etapie cyfrowej obróbki obrazu.

Uważam, że zestaw użytych technik, w odniesieniu do założonych celów (naukowego, technologicznego i konstrukcyjnego) pracy, Doktorant dobrał poprawnie. Większość z badań prowadzono zgodnie z normami lub obowiązującą praktyką produkcyjną. Dodatkowo dokonywał na kolejnych etapach analizy i podsumowania wyników, które uzasadniały kierunek dalszych badań i stanowiły podstawę konkluzji zawartych w pracy. Uważam zatem, że Mgr inż. Mariusz Lewandowski potwierdził w ten sposób umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Doktorant na podstawie przeglądu literatury, analizy stanu istniejącego oraz wyników badań wstępnych sformułował tezę pracy, która może się wydawać oczywista, ponieważ zawsze parametry technologiczne mają istotny wpływ na strukturę i właściwości, niemniej jednak nie zawsze ich zmiana skutkuje poprawą właściwości mechanicznych, w tym przypadku odlewów korpusów silników spalinowych wykonanych ze stopu AlSi9Cu3(Fe.) Zweryfikowanie postawionej tezy pracy oraz osiągnięcie sformułowanych celów było możliwe poprzez realizację badań podzielonych na etapy. Sekwencja taka umożliwi ocenę czynników, determinujących jakość odlewów oraz przeprowadzenie próby przemysłowej po wprowadzeniu opracowanych parametrów korygujących.

Autor uzyskał w pracy interesujące wyniki z zakresu badań podstawowych, ale przede wszystkim o charakterze aplikacyjnym. W celu spełnienia wymagań firmy NemaK Polska konieczne było rozwiązanie dwóch problemów. Pierwszy dotyczył zwiększenia minimalnego udziału złomu obiegowego (własnego), który będzie wykorzystywany w produkcji seryjnej. Drugi warunek obejmował poprawę właściwości mechanicznych w określonych strefach odlewu wg uzgodnionej metodyki badawczej.

Doktorant swoje badania poprzedził ewaluacją modelu produkcyjnego, stworzonego w oparciu o analizę stanu faktycznego rejestrowanych parametrów technologicznych. Wykazała ona, że próby poprawienia jakości ciekłego stopu, w tym szczególnie mikrostruktury oraz właściwości mechanicznych, powinny być skupione na dwóch etapach produkcyjnych:

1. przygotowaniu ciekłego stopu w piecu topialnym (ilość złomu obiegowego)
2. sposobie pobierania metalu z pieca podgrzewczego (poziom ciekłego metalu w piecu).

Zgromadzone dane pozwoliły na określenie zakresu prac realizowanych w ramach rozprawy doktorskiej, który obejmował: dokonanie oceny wpływu złomu obiegowego na strukturę i właściwości stopu, opracowanie zmian technologicznych oraz eksperymenty

przemysłowe. Późniejsze badania własne potwierdziły słuszność wyboru zakresu badań, a poszczególne etapy prac zostały umiejętnie opisane i logicznie powiązane.

Autor w rozprawie wskazuje, że zawartość złomu obiegowego w wytopie nie wpływa na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne odlewów bloku silnika. Jest to nieco zaskakujący wynik, uwzględniając dane literaturowe i fakt, że badał skrajne zawartości złomu 20 i 70%. Można zgodzić się z argumentem Doktoranta, że jest to wynikiem wysokiej jakości złomu, który pochodził wyłącznie z produkcji firmy Nematik Polska. Pojawia się jednak pytanie, czy zatem jest możliwe otrzymanie odlewów wykonanych ze 100% złomu o porównywalnych właściwościach mechanicznych?

W ramach dalszych badań Doktorant wykazał, że zaniżone właściwości mechaniczne odlewów, które zostały ujawnione podczas analizy wstępnej są związane ze zmieniającym się poziomem ciekłego stopu w piecu podgrzewczym w czasie odlewania oraz przestojami w produkcji. Wnikliwie przeanalizował ten wątek, wykorzystując wiedzę z zakresu inżynierii materiałowej, dotyczącą relacji między mikrostrukturą i właściwościami metali. Stwierdził, że istotnym czynnikiem mikrostrukturalnym jest udział objętościowy i liczba cząstek ołowiu, które są zależne od poziomu ciekłego metalu w piecu i wzrastają wraz za zmniejszaniem się ilości stopu. Identyfikacja przyczyn technologicznego problemu, pozwoliła na zaprojektowanie i wdrożenie innowacyjnego systemu dozującego, co ograniczyło negatywny wpływ Pb i zapewniło uzyskanie w ramach prowadzonych badań wymaganych właściwości mechanicznych stopu. Potwierdzone to zostało na drodze weryfikacji wdrożonego systemu dozowania w odlewaniu seryjnym.

Praca zawiera szczegółowy opis przyjętych przez Doktoranta założeń projektowych, począwszy od opisu kryteriów wyboru rozwiązania, ustalonych w oparciu o propozycji technologiczne firmy Nematik Polska i bazując na dostępnej literaturze naukowej. Następnie podsumowano cechy jakimi powinien charakteryzować nowy system uwzględniając założenia: dotyczące specyfikacji odlewu, projektowe wynikające z eksperymentów przemysłowych oraz wady aktualnego systemu dozowania i wymagania narzucone przez firmę Nematik Polska. Po instalacji nowego systemu dozowania, dokonano jego oceny w oparciu o przeprowadzone wstępne testy i po odbiorze technicznym urządzenia testy w standardowym procesie odlewniczym z naciskiem na badania jakości odlewów.

Oceniając pracę od strony merytorycznej, należy stwierdzić, że zarówno zaplanowane eksperymenty oraz interpretacja wyników wykonane są poprawnie i jako całość stanowią dobre opracowanie. Zgadzam się z sugestią Doktoranta, że nowatorstwo przeprowadzonych przez niego badań polega na wykorzystaniu ilościowych i jakościowych metod badań mikrostruktury, które umożliwiły zidentyfikowanie, a następnie rozwiązanie problemu, jakim były niewystarczające właściwości mechaniczne stopu aluminium. Oryginalnym, technologicznym rozwiązaniem było także zaproponowanie i wdrożenie nowego innowacyjnego systemu dozowania ciekłego metalu.

Dobre opracowania naukowe, do których należy rozprawa, dostarczają na ogół wiele interesujących wyników, będących inspiracją do dyskusji i źródłem dalszych pytań. Tak jest i w tym przypadku, poniżej zamieszczam kilka uwag (część o charakterze systematyzującym) oraz pytań do Autora recenzowanej pracy doktorskiej:

1. Doktorant w pracy stosuje wymiennie określenie cząstki lub wydzielenia Pb, a czasami zawierające Pb, jaka jest poprawna nazwa tych elementów mikrostruktury?
2. Czy w kontekście analizy ilościowej (Pb) zawartej w pracy użyteczne byłyby badania XRD, jeśli tak to w jakim zakresie?
3. Jaki był cel zastosowanej obróbki cieplnej, skoro nie zaobserwowano zmian mikrostruktury i właściwości?
4. Co Autor miał na myśli podkreślając jako zalety stopów z grupy AlSi9Cu łatwość eksploatacji – str. 27?
5. W jaki sposób w oparciu o obrazy 2D określono udział objętościowy cząstek/wydzieleń Pb?
6. W jakich jednostkach podano skład chemiczny w Tab.17 i z czego wynikają różnice w wartościach indeksu gęstości z 2,02 do 2,2 %?

5. Wniosek końcowy

W opinii końcowej chciałabym podkreślić, że Mgr inż. Mariusz Lewandowski przedstawił istotny aplikacyjnie problem badawczy i w oryginalny sposób go rozwiązał, wykazując się przy tym wiedzą z obszaru inżynierii materiałowej. Recenzowana praca ma charakter wdrożeniowy i uważam ją za wartościową pod względem naukowym. Doktorant opanował także metody badawcze stosowane do charakterystyki mikrostruktury i właściwości mechanicznych, odznaczając się dobrą znajomością tematyki rozprawy, umiejętnością planowania i prowadzenia badań oraz interpretacji wyników.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji praca pt.: „*Wpływ parametrów odlewania i obróbki cieplnej na kształtowanie struktury i właściwości mechanicznych odlewów ciśnieniowych bloku silnika samochodowego*” spełnia wymagania formalne, stawiane rozprawom doktorskim zawarte w stosownej ustawie oraz wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowa Politechniki o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



.....
(podpis recenzenta)

Podpisała: Halina Garbacz