

Warszawa, 15.11.2021

dr hab. inż. Dawid Myszka, prof. PW  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Warszawska

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej

**Pana mgra inż. Bogdana Cygana**

pt. „Wpływ premodyfikatorów na podwyższenie i stabilizację jakości metalurgicznej  
ciekłego żeliwa”

przedstawionej w dyscyplinie inżynieria materiałowa

wykonanej pod opieką promotora Pana dr hab. inż. Jana Jezińskiego, prof. PŚ

### Podstawa opracowania recenzji

Opinię opracowano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 21 września 2021r. (sygnatura: RD-75/0006/2020/2021).

### 1. Ocena tematyki rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest zagadnieniu wytwarzania żeliwa sferoidalnego będącego jednym z kluczowych tworzyw odlewniczych na świecie. Mnogość rodzajów żeliwa wynikająca ze struktury postodlewniczej przekłada się na niezwykle szerokie spektrum oferowanych właściwości tego materiału konstrukcyjnego. Żeliwo jest znane przede wszystkim ze swoich doskonałych cech odlewniczych, które umożliwiają wytwarzanie szerokiego spektrum wyrobów. Zarówno tych o prostej geometrii i niewygórowanych właściwościach, niewymagających szczególnych rozwiązań konstrukcyjnych, jak i tych wysokojakościowych. Wytrzymałość specjalnych gatunków żeliwa może być porównywalna z wytrzymałością stali. Gatunki te mogą posiadać również: wyjątkową odporność na zużycie

Biuro Dziekana  
wplynęło dnia .....  
nr 14/RD/17a/006/2021/2022  
zał. ....  
17 LIS 2021  
1

ścierne i wytrzymałość zmęczeniową, możliwość umocnienia przez zgmiot, większą od stali zdolność do tłumienia drgań oraz mniejszą skłonność do zacierania. Najbardziej spektakularne właściwości żeliwa są uzyskiwane przede wszystkim dla żeliwa sferoidalnego, którego wynalezienie wyeliminowało zasadniczą wadę – brak plastyczności. Materiał ten zachowuje wszystkie zalety żeliwa, a jednocześnie umożliwia uzyskiwanie właściwości wytrzymałościowych porównywalnych lub przewyższających właściwości stali lub staliwa. Obserwowane trendy w produkcji światowej wskazują, że produkcja żeliwa sferoidalnego lub wermikularnego jest traktowana jako wskaźnik nowoczesności odlewnictwa w danym kraju oraz tych gałęzi przemysłu, dla których odlewy są istotnymi elementami wyrobów końcowych. Szczególnie jest to widoczne na przykładzie przemysłu motoryzacyjnego i maszynowego. Niezmiernie ważne jest zatem, a szczególnie w przypadku odlewni ukierunkowanych na wytwarzanie żeliwa sferoidalnego, aby przy wytwarzaniu odlewów z żeliwa sferoidalnego zachowywać odpowiednio wysokie standardy prowadzenia produkcji, co daje gwarancję uzyskania określonej struktury i właściwości określonych restrykcyjną normą. Autor pracy zajął się tematyką wprowadzania premodyfikatorów do żeliwa sferoidalnego podczas jego obróbki piecowej i pozapiecowej, co jest nowoczesnym sposobem dodatkowej, wstępnej modyfikacji tj. wprowadzenia do stopu w stanie ciekłym pierwiastków tworzących wystarczająco trwałe związki chemiczne (najczęściej tlenki lub siarczki) umożliwiających zarodkowanie grafitu i tworzenie rozdrobnionej struktury odlewu. Literatura nie zawiera zbyt dużej ilości informacji o premodyfikatorach, sposobach i skuteczności ich oddziaływania. Zebranie w jednym opracowaniu wiedzy o dostępnych premodyfikatorach oraz określenie sposobu ich oddziaływania na mikrostrukturę żeliwa jest konieczne i w znacznej części udało się to autorowi rozprawy.

## **2. Zawartość rozprawy**

Praca doktorska jest podzielona na dwie główne części literaturową i badawczą, która w dużym stopniu bazuje na przedstawionej wcześniej wiedzy. Część dokumentująca stan zagadnienia jest obszernym opracowaniem dotyczącym krystalizacji żeliwa przedstawiającym wszystkie składniki jego struktury oraz poznane dotychczas teorie zarodkowania i wzrostu kryształów. Szczególnie interesująco i kompleksowo autor opracował rozdział poświęcony zarodkowaniu grafitu w żeliwie, co było podstawą do realizacji pracy doktorskiej i zrozumienia podstawowych zjawisk fizykochemicznych w tym zakresie. Jest to bardzo solidne opracowanie bazujące na literaturze, w znacznym stopniu również na najnowszych



osiągnięciach naukowych przedstawionych w publikacjach w ciągu ostatnich pięciu lat (około 30% pozycji). W tej części, w obszerny sposób (20 stron), zaprezentowano również sposoby i możliwości zastosowania analizy termicznej do oceny jakości metalurgicznej żeliwa zarówno od strony teoretycznej, jak i praktycznej. W szczególności przedstawiony został tzw. wskaźnik potencjału zarodkowania NPI, za pomocą którego autor wskazuje możliwości oceny jakości metalurgicznej określonego rodzaju żeliwa w danym punkcie czasowym wytopu. Jest to bardzo interesujący i nowatorski aspekt pracy, choć zaczerpnięty, jak się wydaje z przemysłowych rozwiązań komercyjnych.

Część badawcza pracy w szczególności dotyczy oceny oddziaływania wielu rodzajów premodyfikatorów na mikrostrukturę żeliwa sferoidalnego zakładając, że poprzez takie oddziaływania wzrośnie liczba wydzieleni grafitu sferoidalnego oraz zwiększy się ich sferyczność. W szerokim zakresie przedstawiona została analiza termiczna żeliwa sferoidalnego, za pomocą której monitorowane są zmiany fizykochemiczne zachodzące w krzepnącym stopie. Analiza ta miała posłużyć do weryfikowania jakości metalurgicznej stopu, w którym wymaga ono określonego oddziaływania korekcyjnego do uzyskania odpowiedniej klasy żeliwa. Pracę w części badawczej podzielono słusznie na trzy etapy: wstępny, właściwy i dodatkowy. W badaniach wstępnych określono materiał wyjściowy do badań na podstawie licznych obserwacji, badań i analiz w warunkach produkcyjnych Odlewni Teksid Iron Skoczów. Zbudowano na tym etapie siatkę powiązań w układzie: możliwości odlewni - wymagania klienta - materiały wsadowe – technologia wytwarzania. Badania właściwe obejmowały bardzo szeroki zakres doświadczeń na wcześniej wytypowanych materiałach bazując na założonej metodyce. Dodatkowo przeprowadzono doświadczenia premodyfikacji w procesie Imould, co jest zagadnieniem badawczym, które może być rozwijane w dalszych pracach naukowych prowadzonych w Odlewni.

Podsumowując praca jest obszernym opracowaniem dotyczącym krystalizacji żeliwa oraz wpływu poszczególnych czynników, tj. sposobu topienia, rodzaju wsadu, warunków prowadzenia wytopu, składu chemicznego oraz obróbki pozapiecowej, na jakość metalurgiczną stopu ocenianą na podstawie wskaźników analizy termicznej realizowanej w czasie wytopu. Praca ma w większości charakter użyteczny co dodatkowo podnosi jej ocenę.

### 3. Najważniejsze zalety i osiągnięcia pracy

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Bogdana Cygana stanowi moim zdaniem ważne osiągnięcie naukowe i posiada szereg bardzo istotnych cech, z których najważniejsze wymieniono poniżej.

- Określony został rodzaj premodyfikatora właściwie i stabilnie poprawiający jakość struktury żeliwa, a także wyjaśniony został mechanizm tworzenia zarodków i wzrostu grafitu sferoidalnego. Dla wytopów z premodyfikatorami wielkość wydzieleni grafitu uległa zmniejszeniu, a także zwiększyła się ich liczba (Preseed®<sup>TM</sup> i Preseed FOX).
- Oceniony, przeanalizowany i dobrany został właściwy czas zabiegu premodyfikacji ciekłego żeliwa monitorowany poprzez analizę termiczną.
- Przedstawiono i udokumentowano w pracy możliwości tworzenia struktur węglkowych na bazie azotków (str.152), co nie zostało do tej pory opisane w literaturze i stanowi niewątpliwie osiągnięcie naukowe. Jest to niezmiernie interesujące zagadnienie z naukowego punktu widzenia, podobnie jak efekt występowania tego typu struktur w żeliwie sferoidalnym i ich wpływu na morfologię grafitu.
- Autor zawarł w pracy wyniki, że złożona kombinacja Mg-Si-Al może być silniejsza niż Zr i Ti do neutralizacji azotu w żeliwie, co potwierdza wyniki autorów innych opracowań.
- Praca ma silny aspekt wdrożeniowy poprzez realizację badań w skali produkcyjnej, co stanowiło doświadczalne sprawdzenie wyników badań oraz ich rzeczywistą implementację. Potwierdzając przydatność badanych metod oceny jakości żeliwa przez analizę termiczną skorygowano system działający w warunkach produkcyjnych, który w przypadku uzyskiwania niewłaściwych parametrów żeliwa wyjściowego wskazuje na wykonanie określonych korekt tj. dodatku premodyfikatora.
- Przeprowadzone prace pokazują bardzo wysoki poziom technologiczny oraz stosowanie odpowiedniej „kultury” prowadzenia procesów produkcyjnych związanych z uzyskiwaniem bardzo trudnego materiału żeliwa sferoidalnego w sposób opanowany na bardzo wysokim poziomie.



### 3. Krytyczna ocena rozprawy

Lektura pracy ujawnia zdaniem recenzenta tylko nieliczne i mało znaczące jej mankamenty oraz nasuwa pewne stwierdzenia dyskusyjne, wymienione i omówione poniżej.

#### *Uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym do dyskusji*

Recenzowana praca posiada istotne walory poznawcze, a przede wszystkim użyteczne oraz stanowi wartościowy wkład Autora w obszarze badań nad krystalizacją żeliwa sferoidalnego oraz aspektami produkcyjnymi. Pojawiają się jednak pewne pytania, sprowokowane sformułowaniami zawartymi w rozprawie, które przedstawiłem poniżej i oczekiwałbym na nie odpowiedzi Doktoranta:

1. Co oznacza przedstawione w tezach pracy oraz wielokrotnie powtarzane sformułowanie „wzrost/poprawa i stabilizacja parametrów/wskaźników analizy termicznej”? Podczas badań oddziaływano na materiał, a analiza termiczna służyła jedynie monitorowaniu zjawisk w nim zachodzących.
2. W badaniach właściwych zastosowano bardzo wyrafinowane techniki mikroskopii elektronowej nie wyjaśniając precyzyjnie przyczyny jej wykorzystania np. poszukiwanie potwierdzenia dla znanych zjawisk lub weryfikacja nowych teorii, etc. Przedstawiono możliwości tworzenia struktur węglkowych na bazie azotków, co jest niezmiernie interesujące z naukowego punktu widzenia, pojawia się jednak pytanie czy struktury te były przypadkowe czy ich tworzenie stanowiło pewne powtarzalne zjawisko w badanym materiale?
3. Na stronie 79 przedstawiono rysunki, które prawdopodobnie przedstawiają sens fizyczny premodyfikacji i jej wpływ na populację mikrowtrąceń oraz liczbę wydzielenń grafitu. Nie opisano jednak tych rysunków, co utrudnia ich zrozumienie. Czy można w sposób liczbowy określić różnice dla obu przedstawionych stanów?
4. Do badań wytypowano 8 premodyfikatorów, jednak w badaniach wstępnych zastosowano jedynie trzy z nich. Czym to uzasadniono? Do badań wytypowano tylko jeden materiał reprezentujący premodyfikatory z REE (wskazany został premodyfikator VL(Ce)<sub>2</sub> zawierający jedynie 1,8-2,2% Ce). Jednak pierwiastki ziem rzadkich (REE - Rare Earth Elements) jest to grupa 17 pierwiastków chemicznych, do której zaliczane są wszystkie lantanowce (w tym: lantan i cer) oraz skand i itr. La i Ce występują w innych

wytypowanych premodyfikatorach, jak pokazano w tabeli 1/str.65. Wskazanie tylko jednego premodyfikatora i poddanie go wstępnym analizom nie daje poglądu jak REE wpływają na strukturę badanych rodzajów żeliwa, a tym samym nie daje pełnego przeglądu stanu zagadnienia.

### *Pozostałe uwagi krytyczne*

W tekście rozprawy występują usterki o różnym charakterze – terminologicznym oraz stylistycznym oraz dotyczącym układu logicznego pracy. Oto najważniejsze z nich:

- Czy na rysunku 110 widoczne są „gałęzie dendrytów” jest trudne do potwierdzenia bez wyraźnego wskazania obszaru na zdjęciu.
- Na stronie 105 w tabeli 23 wskazano wartość 15 kulek na mm<sup>2</sup>, co jest zapewne błędem.
- „Omiatanie lameli z obu stron wiązką jonów” – wydaje się być zagadnieniem ekstremalnie trudnym do pokazania na zdjęciu, a raczej jego efekt będzie widoczny.
- Sformułowania żeliwo „martwe”, „wyjałowione”, „poniedziałkowe” są sformułowaniami żargonowymi i używanie ich w pracy naukowej powinno być unikane. Ponadto używanie wielu pojęć dotyczących tego samego zjawiska komplikuje zrozumienie pracy i należałoby je wyeliminować lub przynajmniej ujednolicić.

## **4. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy**

Praca doktorska przedstawiona do recenzji jest wartościowym opracowaniem naukowym, zawiera ważne wnioski badawcze, które mają szczególne znaczenie dla zastosowań aplikacyjnych. Rozprawa stanowi niewątpliwie oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano podstawowe i zaawansowane metody badawcze oraz przeprowadzono analizy na wysokim poziomie merytorycznym. Jest przykładem pracy, w której rozwiązanie złożonego problemu naukowego jest ściśle powiązane z pomyślnym zastosowaniem przemysłowym. Przedstawione uwagi krytyczne dotyczą kilku pobocznych zagadnień merytorycznych, które wymagają wyjaśnienia oraz zwracają uwagę na dbałość o poprawność językową konieczną w rozprawach doktorskich. Uwagi te nie ujmują pracy z jej wartości i solidności opracowania.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również fakt, iż doktorant wykazał należytą wiedzę teoretyczną z zakresu reprezentowanej przez siebie dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Bogdana Cygana pt. „Wpływ premodyfikatorów na podwyższenie i stabilizację jakości metalurgicznej ciekłego żeliwa” spełnia wymagania stawiane przez Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z dnia 30 stycznia 2018r. poz. 261) oraz Ustawę z dnia 18 marca 2011r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw, wobec czego wnioskuję o Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Dariusz Myśliwski".