

Dr hab. inż. Grzegorz Gumienny, prof. uczelni
Politechnika Łódzka
Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji

Łódź, 3 stycznia 2025 r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej pt. „Wpływ materiałów wsadowych na jakość metalurgiczną
żeliwa sferoidalnego w odlewach wielkogabarytowych”**

mgr inż. Małgorzaty Lenert

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Formalną podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa, Profesora dr hab. inż. Adama Grajcara z dnia 22 października 2024 r. Promotorem rozprawy doktorskiej jest Pan dr hab. inż. Marcin Stawarz, prof. PŚ a opiekunem przemysłowym dr inż. Rafał Dojka. Rozprawa mieści się w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

2. Ocena istotności i celowości podjętego tematu

Początek epoki żelaza datuje się na ok. 1500 r. p.n.e. Historia żeliwa sferoidalnego jest na tym tle znacznie krótsza i sięga drugiej połowy lat czterdziestych ubiegłego wieku. Ze względu na jego doskonałe właściwości wielkość produkcji tego rodzaju żeliwa jest znaczący. Przykładowo w 2020 r. wyprodukowano na świecie ponad 105 mln ton odlewów, z czego niemal 74 mln ton to odlewy z żeliwa (70%). W tymże roku wyprodukowano ponad 23,5 mln ton odlewów z żeliwa sferoidalnego, co stanowi 22,3% całkowitej produkcji odlewów i niemal 32% produkcji odlewów żeliwnych. W Polsce wskaźnik ten jest niższy, ponieważ odlewy z żeliwa sferoidalnego w tymże roku stanowiły 15,3% całkowitej produkcji odlewów oraz 25,6% produkcji odlewów żeliwnych. Wskaźnik ten w rzeczywistości jest niższy, ponieważ w produkcji odlewów z żeliwa sferoidalnego uwzględniono żeliwo ciągliwe.

Powyższe dane wskazują, że żeliwo sferoidalne cieszy się dużym powodzeniem wśród odbiorców, co zachęca do udoskonalania jego mikrostruktury i bezpośrednio wynikających

z niej właściwości. Recenzowana praca wpisuje się zatem doskonale w obecne trendy światowe, dotyczące wytwarzania wysokojakościowego żeliwa sferoidalnego, zwłaszcza, że dotyczy odlewów wielkogabarytowych. Nie bez znaczenia jest tu również jednorodność osnowy badanego żeliwa składającej się w zdecydowanej większości z umocnionego roztworowo ferrytu.

3. Temat, teza i cel rozprawy doktorskiej

Temat pracy doktorskiej „Wpływ materiałów wsadowych na jakość metalurgiczną żeliwa sferoidalnego w odlewach wielkogabarytowych” poprawnie odnosi się do jej treści, aczkolwiek ze względu na fakt, że Autorka bada wyłącznie żeliwo sferoidalne umocnione roztworowo korzystnym byłoby go w tym aspekcie doprecyzować. Z drugiej strony zakres prac obejmuje szeroką gamę zagadnień począwszy od opracowania składu chemicznego żeliwa, poprzez badanie procesu jego krystalizacji i przełomów, aż po właściwości mechaniczne.

Teza pracy doktorskiej: *„Odpowiedni dobór składu chemicznego oraz materiałów wsadowych w produkcji żeliw ferrytycznych sferoidalnych o wzmocnionym roztworze stałym, prowadzi do uzyskania niemal w pełni ferrytycznej osnowy oraz minimalizacji udziału zdegenerowanych form grafitu typu „chunky”, co przyczynia się do otrzymania żądanych właściwości użytkowych odlewów o grubości ścian powyżej 60 mm.”* została sformułowana dość ogólnie, ponieważ nie określono, co oznacza „niemal” w pełni ferrytyczna osnowa czy też jaki procent udziału grafitu „chunky” jest akceptowalny, a przede wszystkim, co oznaczają „żądane właściwości użytkowe.” Czy Doktorantka miała na myśli podane w normie PN-EN 1563:2018 właściwości mechaniczne (R_m , $R_{p0.2}$ i A) dla odlewów z żeliwa sferoidalnego ferrytycznego umocnionego roztworowo o grubości ściany ≤ 60 mm, które nie zostały określone dla odlewów o grubości ściany powyżej 60 mm (są one do uzgodnienia między wytwórcą a zamawiającym)?

W świetle powyższego aspektu nie do końca jasny jest pierwszy cel pracy (Doktorantka sformułowała ich aż pięć): *„Uzyskanie własności mechanicznych żeliwa odpowiadających gatunkom EN-GJS 450-18, EN-GJS 500-14 oraz EN-GJS 600-10, zgodnie z PN-EN 1563:2018 Odlewnictwo – żeliwo sferoidalne.”* Czy Doktorantka miała na myśli uzyskanie właściwości mechanicznych żeliwa odpowiadających gatunkom EN-GJS 450-18, EN-GJS 500-14 oraz EN-GJS 600-10, zgodnie z PN-EN 1563:2018 Odlewnictwo – żeliwo sferoidalne dla odlewów o grubości ściany powyżej 60 mm takich, jak dla odlewów o grubości ściany do 60 mm?

Pozostałe cele pracy:

„Cel nr 2

Wyznaczenie maksymalnej ilości pierwiastków perlitotwórczych, których udział nie wpływa na pogorszenie uzyskanych własności żeliw SSFDI w zależności od gatunku.

Cel nr 3

Określenie zasadności minimalizacji udziału surówki odlewniczej we wsadzie metalowym.

Cel nr 4

Zdefiniowanie wpływu grubości ścianki odlewu na uzyskane wyniki własności mechanicznych z zastosowaniem znormalizowanych próbek o zmiennym przekroju dla żeliw SSFDI.

Cel nr 5

Implementacja wyników w przestrzeni produkcyjnej przedsiębiorstwa – wytworzenie odlewów handlowych na podstawie analizy uzyskanych wyników, określenie warunków realizacji wytopów dla żeliw SSFDI w przestrzeni produkcyjnej odlewni.”

sformułowano poprawnie a ich użyteczność wynika z realizacji doktoratu w formule programu „Doktorat wdrożeniowy”.

4. Układ i treść rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Małgorzaty Lenert zatytułowana „Wpływ materiałów wsadowych na jakość metalurgiczną żeliwa sferoidalnego w odlewach wielkogabarytowych” liczy 132 strony. Składa się ona z 5 rozdziałów (rozdział nr 5 to bibliografia), poprzedzonych spisem oznaczeń i symboli oraz wstępem i uzupełnionych o spis rysunków, tabel oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

W liczącej niewiele, bo 42 strony, części teoretycznej zatytułowanej „Studium literatury” Autorka „lekkim piórem” opisała zagadnienia związane z aktualną sytuacją i perspektywami dla żeliw sferoidalnych na tle ostatnich kilku lat i w aspekcie zarówno niedawnej sytuacji pandemicznej jak i politycznej. Następnie, niejako z obowiązku, szczegółowo opisała żeliwo sferoidalne, z naciskiem na żeliwo ferrytyczne umocnione roztworowo i istotną rolę krzemu w aspekcie mikrostruktury żeliwa i wynikających z niej właściwości mechanicznych. Szczegółowo opisała też mechanizm umocnienia wywołanego obecnością krzemu w osnowie żeliwa. Zwraca uwagę dogłębną i jednocześnie syntetyczną analizą wpływu pierwiastków

podstawowych (zwłaszcza ww. krzemu) oraz dodatków stopowych w żeliwie sferoidalnym na jego krystalizację i mikrostrukturę.

Kolejną część Autorka poświęciła technologii żeliwa sferoidalnego, tj. materiałom wsadowym oraz obróbce pozapiecowej, przy czym tym pierwszym poświęciła znacznie więcej uwagi (co w aspekcie podjętego tematu pracy wydaje się ze wszech miar słuszne). Pomimo to niedosyt budzi powierzchowne potraktowanie procesu sferoidyzacji żeliwa – Doktorantka opisała lakonicznie zaledwie jeden rodzaj technologii – przewodu elastycznego (PE). Część danych zawartych w podrozdziale 1.7 „Żeliwa SSFDI – wyzwania w produkcji przemysłowej” odnoszą się do podrozdziału 1.6 „Krystalizacja żeliwnych odlewów grubościennych”, a zwłaszcza opis krystalizacji grafitu typu „*chunky*” oraz zagadnienia związane z mikrosegregacją pierwiastków. Analizę aktualnego stanu wiedzy Autorka słusznie kończy zastosowaniem oraz możliwościami aplikacyjnymi żeliwa sferoidalnego umocnionego roztworowo.

Reasumując należy uznać, że teoretyczna część pracy dobrze koresponduje z częścią doświadczalną i uzasadnia podjęcie tematu pracy.

Kolejna część pracy to badania własne. Autorka podzieliła je na dwa etapy: wytopy wstępne oraz próba 4Y. Obydwa rozpoczyna poprawnie i szczegółowo opisana metodyka badawcza.

Autora recenzji zaintrygowały „wprowadzone pewne modyfikacje w związku z wprowadzeniem układu wlewowego, co stanowi efekt prac badawczo-rozwojowych odlewni” (str. 48) szerzej nie opisane i nie wyjaśnione w pracy.

Wyniki badań własnych w etapie pierwszym dotyczącym składu chemicznego żeliwa, jego właściwości mechanicznych, mikrostruktury, przełomów oraz analizy termicznej i derywacyjnej Doktorantka przedstawiła „kompaktowo” (Tabela 7-9 oraz rysunki 41-82) a ich opis w kolejnej części pracy, co stanowi pewne utrudnienie dla czytelnika. Przykładowo tabela 6 znajduje się na stronie 52, natomiast jej opis czytelnik znajdzie dopiero na stronach 71-73. Na każdym z rysunków 55-68 przedstawiających przełomy badanego żeliwa Doktorantka zastosowała aż sześć różnych powiększeń (w różnym zakresie), co niepotrzebnie multiplikuje ich liczbę i nie wnosi do pracy nic istotnego. Bez negatywnego wpływu na wyniki badań Autorka mogła pokazać trzy. Niedosyt budzą surowe dane z zakresu analizy termicznej i derywacyjnej (rys. 69-81): brak jest punktów charakterystycznych na krzywej różniczkowej oraz metodologii wyznaczenia temperatury krystalizacji eutektyki $T_{e\ start}$, $T_{e\ min}$ i $T_{e\ max}$.

Opis i interpretacja wyników badań etapu pierwszego stanowi cenny zbiór informacji, właściwie wykorzystany w drugim etapie badań.

Znajduje to odzwierciedlenie chociażby w mikrostrukturze osnowy, gdzie w większości wyeliminowano wydzielenia perlitu. Podobnie, jak w etapie pierwszym, etap drugi kończy właściwa interpretacja wyników badań.

Bardzo cenną (i rzadko spotykaną) częścią pracy jest rozdział poświęcony wdrożeniu produkcyjnemu. Świadczy ono o właściwym zrealizowaniu całości badań i ich użytkowym charakterze.

Podsumowując część badawczą należy stwierdzić, że stanowi ona cenny zbiór danych z zakresu technologii odlewów wielkogabarytowych z żeliwa sferoidalnego umocnionego roztworowo, a Doktorantka wykazuje cechy dojrzałego badacza, potrafiącego właściwie interpretować i krytycznie oceniać otrzymane wyniki.

Wnioski z przedstawionych badań bardzo dobrze korespondują z celami pracy. Szczegółowo odnoszą się do każdego z pięciu celów pracy i udowadniają ich osiągnięcie. Ich analiza pozwala stwierdzić, że teza pracy została udowodniona.

Literatura jest stosunkowo obszerna i liczy 104 pozycje. Brak jest pozycji literaturowych Doktorantki.

5. Ogólna ocena oraz uwagi do pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Małgorzaty Lenert zatytułowana „Wpływ materiałów wsadowych na jakość metalurgiczną żeliwa sferoidalnego w odlewach wielkogabarytowych” stanowi oryginalne rozwiązanie wybranych problemów technologii odlewów wielkogabarytowych z żeliwa sferoidalnego umocnionego roztworowo. W wyniku badań określono skład chemiczny żeliwa zapewniający uzyskanie właściwości zgodnie z PN-EN 1563:2018, ustalając jednocześnie właściwe proporcje wsadu, zminimalizowano udział perlitu, określono wpływ grubości ścianki odlewu na właściwości mechaniczne oraz zrealizowano wdrożenie przemysłowe w warunkach odlewni.

Jak w każdej pracy naukowej można dopatrzeć się błędów lub wątpliwości, z których ważniejsze przytaczam poniżej:

Str. 12: Nieprawdą jest, że tabela 1 wyróżnia „13 podstawowych gatunków żeliw sferoidalnych charakteryzujących się osnową od ferrytycznej po perlityczną”. Wg przywołanej przez Doktorantkę normy PN-EN 1563:2018 gatunek EN-GJS-900-2 charakteryzuje się osnową martenzytyczną lub bainitu odpuszczonego, choć dla „dużych odlewów” dopuszcza się wydzielenia perlitu.

Str. 10: Dane przedstawione na rysunku 4 dotyczą produkcji odlewów żeliwnych oraz staliwnych w Polsce, nie tylko żeliwnych.

Str. 26: Niewłaściwe wartości współczynników we wzorze (3) dla krzemu i (4) dla krzemu i fosforu. Brak jest konsekwencji w liczbie pierwiastków uwzględnianych przy obliczaniu stopnia nasycenia eutektycznego oraz eutektycznego równoważnika węgla (Doktorantka uwzględniła w mianowniku zależności (3) zawartości pięciu pierwiastków a w zależności (4) tylko trzech).

Str. 28: Proszę o zinterpretowanie zdania: „Jego (tj. molibdenu) cechą charakterystyczną jest zwiększenie trwałości austenitu wobec przemiany bainitycznej, co uzyskuje się przy współudziale takich pierwiastków jak nikiel lub miedź.”

Str. 48: Czy Autorka na rys. 33a pokazuje rdzennicę do wykonania rdzenia czy model do wykonania formy odlewniczej?

Str. 66-70: Dlaczego Autorka rejestrowała efekt cieplny od przemiany w stanie stałym, skoro brak jest jego opisu czy interpretacji? Również dane z tabeli 10 „Charakterystyczne temperatury analizy ATD” wskazują na brak pozyskanych danych w tym aspekcie.

Str. 74: Rys. 83-86 nie pokazują w rzeczywistości wpływu udziału surówki odlewniczej na właściwości żeliwa sferoidalnego ponieważ wytopy W7, W11-W13 realizowane były dla różnej ilości pozostałych materiałów wsadowych zarówno podstawowych jak i pomocniczych, choć Doktorantka wspomina o tym na str. 73.

Str. 76: Na rys. 87 przedstawiono wpływ Mn na udział perlitu, na którym występuje maksimum przy około 0,4% Mn. Czy według Autorki zwiększanie zawartości tego pierwiastka może spowodować zmniejszenie ilości tej mieszaniny eutektoidalnej?

Doktorantka zamiennie stosuje określenie „własności” i „właściwości”.

Poza wyżej wymienionymi zdarzają się również pomniejsze błędy, do których można zaliczyć:

- Str. 24: Zbyt lakoniczny tytuł podrozdziału 1.4: „Wpływ składu chemicznego żeliwa” – na co?
- Brak odniesienia w tekście do rysunku 25 (str. 37).
- Rys. 29 pokazuje wpływ morfologii grafitu wyłącznie na wydłużenie żeliwa ferrytycznego, nie na jego „właściwości mechaniczne”.
- Podanie przez Doktorantkę dwutomowej pozycji Czesława Podrzuckiego „Żeliwo – struktura, własności, zastosowanie” jako jednej pozycji bibliograficznej utrudnia znalezienie informacji źródłowych.

- Rys. 31. Brak odniesienia literaturowego.
- Tabela 9 i 16: pokazują mikrostrukturę grafitu czy jego kształt?

W dysertacji znajdują się też lapsusy językowe, np. „zniekształcenie kulek grafitowych”, „wykluczenie odpowiednich dodatków stopowych” (str. 29) czy też „wytrzymałość na wydłużenie” (str. 39).

Pomimo faktu, że recenzja dysertacji zawiera dość liczne uwagi krytyczne, nie umniejszają one jej naukowej i użytecznej wartości, a mogą być one pomocne podczas przygotowywania publikacji oraz planowania kolejnych badań i wdrożeń.

6. Wniosek końcowy

Reasumując, jednoznacznie stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim oraz Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami (Dz.U. Nr 65, poz. 595) w związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Małgorzaty Lenert do publicznej obrony.

Prof. G. Gumienny

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)