

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Łukasza Kostrzewskiego

p.t. „Rola węgliku krzemu w procesie wytwarzania żeliwa sferoidalnego z wykorzystaniem pieca indukcyjnego”

opracował

dr hab. inż. Dawid Mysza

Wydział Inżynierii Produkcji

Politechnika Warszawska

Podstawa opracowania recenzji

Opinię opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dnia 12 czerwca 2018r. (sygnatura: WO-sd.510-08-02/2018).

1. Ocena tematyki rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest zagadnieniu wytwarzania żeliwa sferoidalnego będącego jednym z kluczowych tworzyw odlewniczych na świecie. Żeliwo jest najpopularniejszym spośród wszystkich tworzyw odlewniczych w produkcji przemysłowej. Stanowi ono około 70% produkcji światowej, co ma swoje źródło przede wszystkim w różnorodności właściwości jakie oferują odlewy wykonane z tego materiału. Odlewy z żeliwa sferoidalnego stanowią na świecie ok. 25% produkcji, a w Polsce ok. 15%, co wskazuje na istotne znaczenie pracy doktorskiej nie tylko w obszarze nauki, ale również wdrażaniu wyników prac badawczych do przemysłu. 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. Szczególne 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. Wprowadzanie SiC do kąpielii metalowej jest jednym z nowoczesnych sposobów oddziaływania na żeliwo w celu jego uszlachetnienia. Poznane dotychczas w skali laboratoryjnej zagadnienie umożliwia wpływanie na strukturę żeliwa podobnie do innych, popularnych składników modyfikujących np. żelazokrzemu. Proces ten skutkuje poprawieniem niektórych cech strukturalnych tj. większą ilością wydzieleni grafitu i większą ich sferycznością, poprawieniem własności mechanicznych czy obniżeniem kosztów produkcji. Choćby te korzyści wydają się świadczyć o prawidłowym kierunku w wyborze tematyki pracy naukowej, która przynosi je do skali przemysłowej i umożliwia rozpoczęcie odpowiedzialnej produkcji.

2. Zawartość rozprawy

Praca dotyczy w szczególności oddziaływania węgla krzemu na strukturę i właściwości odlewów wykonanych w skali przemysłowej. Zaprezentowane zostały obszernie badania dotyczące wytopów żeliwa gatunku EN-GJS-400-15 oraz EN-GJS-500-7 bazujące na dodatkach zawierających SiC w określonym udziale (do 1% masy wsadu stałego) lub go pozbawionych. Znacząca ilość przedstawionych badań dokumentuje podobieństwa i różnice w strukturze i właściwościach odlewów wykonanych z użyciem SiC lub klasycznych dodatków. Charakter naukowy pracy podkreśla analiza wpływu SiC na zarodkowanie i kształt wydzieleni grafitu, określenie temperatury likwidus i solidus stopów o wybranym składzie chemicznym i analiza zmian tej temperatury, bądź przedstawienie i analiza roli jakości wsadu stałego na skład chemiczny wytopu.

3. Najważniejsze zalety i osiągnięcia pracy

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

- Gruntowna i kompleksowa analiza roli węgliku krzemu (od metod jego wytwarzania po reakcje w ciekłym stopie żelaza i wpływ na krystalizację) w procesie wytwarzania żeliwa sferoidalnego, co jest jednoznacznie spójne z tematem rozprawy.
- Analiza wpływu SiC na reakcje z ciekłym metalem w kontekście tworzenia tzw. klastrów grafitowych wokół cząstek węgliku oraz różnic dla tworzenia takich struktur w przypadku rozpuszczania żelazokrzemu, ale również niewielkie zanieczyszczenie stopu pierwiastkami „śladowymi” (B,Cr,Ti,As,V). Stwierdzono również, że SiC wspomaga dłuższe działanie modyfikacji, co jest ciekawym aspektem poznawczym.
- Określenie sposobu i efektów oddziaływania SiC na strukturę i właściwości odlewu dla uzyskania dwóch gatunków żeliwa sferoidalnego: EN-GJS-400-15 oraz EN-GJS-500-7 oraz potwierdzenie braku różnic w kontrolowanych wytopach z SiC w porównaniu do klasycznych metod modyfikacji z wykorzystaniem żelazokrzemu.
- Praca ma silny aspekt wdrożeniowy poprzez realizację badań w skali produkcyjnej (użycie 2300kg wsadu stałego topionego w piecach indukcyjnych), co stanowiło doświadczalne sprawdzenie wyników badań zrealizowanych z wykorzystaniem niewielkiej pojemności pieców laboratoryjnych oraz dało możliwość skalowania zjawisk, co nie zawsze jest oczywiste.
- Potwierdzono umiejętność prawidłowego wykorzystania narzędzi badawczych takich jak: urządzenia do analizy termicznej, mikroskopii świetlnej i elektronowej, dyfraktometru rentgenowskiego, maszyny wytrzymałościowej, itp., które posłużyły do udowodnienia założonej tezy rozprawy.
- Logistyczne przeprowadzenie badań na odlewni tj. przekonanie odlewni o bezpieczeństwie prowadzonych eksperymentów i możliwości wykonania odlewów o właściwościach spełniających z nadatkiem wymagania norm. Ważnym aspektem jest również stwierdzenie, że nie wprowadzono do stopu większej ilości zanieczyszczeń niż podczas wytopu bez dodatku SiC.
- Możliwość określenia błędów w procesie produkcyjnym – słaba segregacja złomu skutkująca różnorodnością w składzie chemicznym odlewów, określenie wpływu poszczególnych czynników na rozbieżności w ostatecznym składzie chemicznym wytopu tj. proporcji surówki i złomu, udziału określonego rodzaju złomu np. blach głęboko tłocznych, etc.

- Analiza ekonomiczna wytopów, co z punktu widzenia naukowego może nie jest istotnym aspektem pracy, jednak ujęcie tego zagadnienia w rozprawie zamyka klamrą kompleksowość opracowania.
- Imponująca ilość pracy włożonej w przeprowadzenie badań w skali przemysłowej.
- Klarowny i logiczny układ rozprawy.
- Analiza wyników badań bezpośrednio z ich prezentacją, co w kontekście czytelności pracy jest niezwykle pomocne.

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 i dyskusyjne dotyczące istoty problemu naukowego

1. Bardzo ciekawym naukowo aspektem pracy jest wpływ SiC na ilość i kształt wydzieleni grafitu. Brak jednak głębszej dyskusji merytorycznej nad rozkładem wydzieleni grafitu i różnicami w poszczególnych wytopach przedstawionych w wynikach.
2. Nie przeprowadzono analizy czy dodatek węgla krzemu powyżej 1% masy wsadu stałego nie spowoduje zmian w strukturze i właściwościach odlewów. Stwierdzenie, że „w literaturze można spotkać takie opinie” rzuca pewien cień na pełność opracowania. Praca wszakże dotyczyła określenia wpływu SiC w ogóle na wytwarzanie żeliwa sferoidalnego z jego udziałem. Czy zatem oparcie na literaturze wystarczy?
3. Określenie wpływu SiC jedynie na dwa gatunki żeliwa sferoidalnego tj. EN-GJS-400-15 oraz EN-GJS-500-7, co również wskazuje na zawężenie zagadnienia do wybranych aspektów. Recenzent jednak stwierdza, że nie umniejsza to jakości pracy, gdyż z dużym prawdopodobieństwem zachodzące zjawiska będą podobne dla pozostałych gatunków żeliwa sferoidalnego. Nie uzasadniono jednak wyboru gatunków żeliwa, ani konsekwencji stosowania SiC dla innych gatunków.
4. Niezrozumiałe jest stwierdzenie „kolejne przyrastające warstwy grafitu są stosunkowo duże” w rozdziale *Podsumowanie i wnioski*. Wskazywałoby ono na warstwową,

jednorodną budowę grafitu, a przecież kulka tej odmiany alotropowej węgla jest polikryształem wzrastającym w określonych kierunkach krystalograficznych.

5. Stwierdzenie, że „dodatek SiC może powodować zmianę charakteru krzepnięcia stopu i mechanizm wzrostu sferoidów grafitu powodując, że ich powierzchnia może tworzyć postać łuskowatego pancerza” jest nie do końca zrozumiałe i należałoby go dokładniej wyjaśnić lub wskazać powody takiego uogólnienia. W pracy nie przeprowadzono szczegółowych badań dotyczących wpływu SiC na mechanizm wzrostu grafitu.

Pozostałe uwagi krytyczne

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

6. Należałoby zdecydować się na użycie jednej z form: „klastry” lub „klastery”. Używanie naprzemiennie obu wskazuje, że może chodzić o różne formy strukturalne.
7. Na rysunku 5 powtórzono dwukrotnie ten sam schemat. Wydaje się to zbędne.
8. Na stronie 12 stwierdzono: „Metalurgiczny węgiel krzemu jest odporny na działanie wilgoci. Dzięki czemu reakcja gromadzenia wodoru jest zahamowana jak ma to miejsce w przypadku innych.” Nie potrafię odczytać niestety intencji Autora tego zdania.
9. Rozdział 3 „Zarodkowanie” wydaje się, że powinien być zdefiniowany nieco wężiej. Tak szeroka nazwa sugeruje, że odnosi się on do każdego rodzaju zarodkowania, każdego rodzaju materiału, a tak przecież nie jest, na co wskazuje treść rozdziału i odniesienia do literatury.
10. Na stronie 19 użyto sformułowania: „szybszą prędkość rozpuszczania”, a chodziło z pewnością o większą prędkość.
11. Na stronie 22 użyto niepoprawnego sformułowania: „okres czasu”.
12. Zbyteczne są wykresy na rysunkach od 77 do 119 zajmujące miejsce (21 stron) i utrudniające czytanie pracy, a które można było umieścić w załączniku. Zwłaszcza, że na rysunkach od 120 do 123 umieszczono zbiorczo tę samą informację.
13. Od strony 45 do 66 przedstawione są zdjęcia mikrostruktury żeliwa sferoidalnego z przeprowadzonych wytopów. Pomimo niezaprzecznego waloru kolorystycznego, nie

wnoszą one wiele do merytoryczności pracy, a podobnie jak wymienione w punkcie wyżej wykresy, utrudniają czytelność tekstu.

14. Niezręczne jest sformułowanie: „*wysoka twardość może powodować nadmierne zużycie ostrzy skrawających obrabiarek*”. Myślę, że chodziło raczej o zużycie ostrzy narzędzi użytych podczas obróbki skrawaniem.
15. W pracy widoczne są drobne błędy językowe, interpunkcyjne i gramatyczne np. na stronach: 4,5,8,9,18,19,23,27,28,31,91,93,123,125,126,127,128.

4. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy

Wymienione powyżej uwagi krytyczne nie umniejszają dużej wartości pracy, a dotyczą raczej potencjalnych jej rozszerzeń. Recenzowana rozprawa stanowi niewątpliwie oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano podstawowe metody badawcze i przeprowadzono analizy na wysokim poziomie merytorycznym. Jest bardzo dobrym przykładem pracy, w której rozwiązanie złożonego problemu naukowego jest ściśle powiązane z pomyślnym zastosowaniem przemysłowym.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również fakt, iż doktorant wykazał należyłą wiedzę teoretyczną z zakresu reprezentowanej przez siebie dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Kostrzewskiego bezdyskusyjnie spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami. Wnioskuje zatem o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

