

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Marcina Dyrłagi *pt. Technologia wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego w warunkach Odlewni Matalpol przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego*

reprezentującej dyscyplinę „Inżynieria materiałowa”

wykonanej pod opieką promotora Pana prof. dr hab. inż. Jerzego S. Zycha,
opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo
Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (pismo z dnia 15.03.2021r.)

Zasadność podjętego tematu

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Dyrłagi są zagadnienia związane z wytwarzaniem żeliwa sferoidalnego i wermikularnego z zastosowaniem hybrydowego przewodu elastycznego. W Polsce produkcja odlewów w 2018 roku wynosiła 1,036 mln. ton. Analizując profil wytwarzanych odlewów na świecie można stwierdzić, że ok. 43,8% produkcji światowej to żeliwo szare, 24,9% stanowi żeliwo sferoidalne, 10,3% staliwo a około 16,6% to stopy aluminium. W Polsce żeliwo szare stanowi ok. 46,3% produkcji odlewniczej, żeliwo sferoidalne to 15,4%, staliwo 4,6% a stopy aluminium to 31,8%. Z tego wynika, że produkujemy mniej żeliwa sferoidalnego niż na świecie. Analizowana praca obejmuje także żeliwo wermikularne, które w swoich początkach było traktowane jako stop, będący wynikiem nieudanej próby sferoidyzacji. Obecnie wiele odlewni próbuje podjąć produkcję przemysłową tego żeliwa z różnymi skutkami, gdyż udział grafitu wermikularnego w strukturze musi być nie mniejszy niż 80%, a nie zawsze się to udaje w sposób powtarzalny. Trudność polega min. na bardzo wąskim zakresie zawartości w żelwie magnezu po procesie sferoidyzacji. Żeliwo wermikularne posiada właściwości pośrednie pomiędzy żelwem z grafitem płatkowym i żelwem sferoidalnym, a jego najważniejsza zaleta to wysoka odporność na zmęczenie cieplne. Istnieje kilka metod produkcji tego żeliwa różniących się wprowadzanymi do obróbki pozapiecowej stopami. Należą do nich metoda austriacka, amerykańska, kanadyjska. Poszukiwanie powtarzalnej metody produkcji żeliwa wermikularnego (a tego dotyczy oceniana praca) uważam, za bardzo trafne. Dotyczy to zarówno aspektów naukowych jak i użytkowych.

Tytuł pracy „Technologia wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego w warunkach Odlewni Matalpol przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego” w pełni odpowiada zawartej w niej treści, przeprowadzonym badaniom oraz analizowanym w dysertacji zagadnieniom.

Ocena ogólna pracy

Oceniana praca doktorska napisana jest w języku polskim, w klasycznym dla tego typu rozpraw układzie. Obejmuje ona *Część Teoretyczną*, zawierającą cel, tezę i zakres pracy oraz *Część Praktyczną*, która zawiera koncepcję i metodykę badań, przebieg i wyniki badań oraz ich analizę i wnioski. Całość zamyka spis cytowanej literatury, spis rysunków oraz spis tabel. Praca liczy 126 stron, z czego jej zasadnicza treść zawarta jest na 113 stronach. Wykaz cytowanej literatury liczy 98 pozycji, z czego 47 z nich stanowią artykuły wydane po 2000 roku, w tym 19 wydanych po 2010 roku.

Analizując graficzną i edycyjną stronę pracy stwierdzam, że nie jest napisana zbyt dobrze. Duża liczba błędów literowych (brak lub nieodpowiednio postawione zmiękczenia – ś, ć, ci oraz w wielu miejscach brak polskich liter – ą, ę), a także niewłaściwe przypadki obniżają częściowo walory merytoryczne, których w pracy nie brakuje.

Przykładowe błędy tego typu:

- str. 8, 5 wiersz od góry „Różna postacie grafitu...”, 12 wiersz od góry „żeliwo z wermikularne postacią grafitu...”,
- str. 15, 14 wiersz od dołu - „jest jednym z najbardziej rozpowszechnionym materiałem...”, 5 wiersz od dołu - „różnymi właściwościami mechaniczne,...”,
- str. 20, 11 wiersz od dołu - „charakteryzuje się mniejszą odporności na ...”,
- str. 27, 5 wiersz od góry - „stanowi to zaletą ...”, 14 wiersz od góry „metoda otrzymywanie żeliwa ...”, 4 wiersz od dołu - „wzrost ilość grafitu ...”,
- str. 28, 2 wiersz od dołu, „Efekt jednoczesnego wprowadzania dwóch prętów przedstawiono szachownica rysunek 1.13.”,
- str. 50, 8 wiersz od góry – „Żeliwo jest jednym z materiał konstrukcyjny, który dzięki prowadzeniu licznych prace i badania oraz postępowi technologicznemu ciągle się rozwija.” itd.

W większości fragmentów praca jest justowana dwustronnie, ale zdarzają się miejsca wyrównania do lewej strony, co w pewnym stopniu zakłóca harmonię spójności pracy.

Ocena części literaturowej

W części teoretycznej Doktorant przedstawił najistotniejsze zagadnienia związane z żeliwem sferoidalnym i wermikularnym. Ten fragment pracy oceniam na dość dobry. Większość omawianych zagadnień typowo teoretycznych została oparta na artykułach i pozycjach książkowych autorów o niekwestionowanym dorobku w zakresie omawianej problematyki. Dotyczy to publikacji prof. E. Guzika, prof. E. Frasia, prof. Cz. Podruckiego czy prof. J. Zycha. Zagadnienia teoretyczne dotyczą krystalizacji eutektyki grafitowej, modyfikacji grafityzującej, właściwości fizycznych, wpływu kluczowych pierwiastków na właściwości żeliwa sferoidalnego i wermikularnego. Obejmuje to również zagadnienia kontroli jakości żeliwa oraz efektów obróbki pozapiecowej metodą ultradźwiękową

Zagadnienia natury praktycznej dotyczące zastosowań, właściwości mechanicznych oraz metod wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego opracowano na bazie

Polskich Norm, artykułów min. dra. S. Dawsona oraz materiałów informacyjnych firm Sorelmetal i Elkem. Szczególna uwaga została zwrócona w tej części na wermikularyzację i sferoidyzację metodą przewodu elastycznego (PE). Omówiono rodzaje stosowanych wypełnień PE, uzysku magnezu podczas procesu, wpływu na ten parametr zawartości siarki i temperatury oraz prędkości wprowadzania PE do kąpiel metalowej.

Część teoretyczną zamyka rozdział 1.3, w którym dokonano jej podsumowania wskazując, że sferoidyzacja metodą przewodu elastycznego a szczególnie hybrydowego PE jest odpowiedzią na zapotrzebowanie dzisiejszego rynku, z czym się zgadzam.

Analizując zestawienie publikacji, na podstawie którego opracowano część teoretyczną dysertacji stwierdzam, że nie wszystkie pozycje tego wykazu zostały zacytowane w pracy. Ponadto występują błędy edycyjne w nazwach czasopism (Modem Casting zamiast Modern Casting) oraz nazwach firm (Heraeus Electro-Nit zamiast Heraeus Electro Nite). Osobiście brakuje mi również w tym zestawieniu literatury, artykułów prof. M. Górnego oraz Pani prof. M. Kawalec, którzy opublikowali w ostatnich latach bardzo interesujące prace związane z żeliwem wermikularnym i sferoidalnym.

Teza i zakres pracy

Cel rozprawy doktorskiej, tezę, plan i zakres pracy przedstawiono na str. 51. Analizując założony cel pracy stwierdzam, że jest on jasny i możliwy do osiągnięcia w trakcie przewidzianych do przeprowadzenia badań.

Teza pracy mówiąca o zapewnieniu stabilnych i powtarzalnych warunków wytwarzania żeliwa sferoidalnego i wermikularnego dzięki zastosowaniu hybrydowego przewodu elastycznego również nie budzi zastrzeżeń.

Przedstawiony do realizacji (i zrealizowany) zakres pracy jest bardzo obszerny. Obejmuje on opracowanie założeń technologicznych, produkcji wskazanych gatunków żeliwa w warunkach Odlewni Metalpol Węgierska Górka, opracowanie receptury hybrydowego przewodu elastycznego oraz wykonanie wytopów żeliwa sferoidalnego i wermikularnego dla różnych parametrów procesu.

Ocena części badawczej

Część Praktyczną pracy oceniam bardzo wysoko i to zarówno mając na względzie walory naukowe jak i aspekt wdrożeniowy. Doktorant przedstawił koncepcję pracy w rozdz. 2.1. Następnie omówił budowę hybrydowego PE zawierającego magnez w postaci pręta umieszczonego centralnie w stalowej rurce o średnicy 13 mm, zwiniętej z blachy o grubości 0,4 mm wypełnioną modyfikatorem. Doktorant przedstawił również skład chemiczny zastosowanego w przewodzie elastycznym modyfikatora.

W nawiązaniu do tego proszę o wyjaśnienie w jaki sposób pozyskano przewód elastyczny do badań. Czy jest możliwość jego zakupu oraz jaki jest koszt w porównaniu do PE zawierającego sferoidyzator w postaci proszku?

Część praktyczną Doktorant podzielił na trzy etapy. W pierwszym przeprowadził wytopy żeliwa sferoidalnego gatunku GJS 500-7 w piecu elektrycznym indukcyjnym średniej częstotliwości o pojemności 6 ton z użyciem hybrydowego przewodu elastycznego do obróbki pozapiecowej. Sferoidyzację prowadzono w kadziach dla masy żeliwa wynoszącej 1 tonę. Łącznie przeprowadzono badania dla 6 kadzi wylewanych z pieca w odstępie ok. 20 minut. Z każdej kadzi odlewano co 2 minuty próbki do kontroli stopnia sferoidyzacji żeliwa metodą ultradźwiękową oraz na początku i końcu kadzi zalewano próbki typu Y w celu przeprowadzenia badań wytrzymałościowych i próbkę schodkową w celu wyznaczenia wpływu szybkości chłodzenia na mikrostrukturę. W tej części pracy zamieszczono wyniki przeprowadzonych badań składu chemicznego, ultradźwiękowych, właściwości wytrzymałościowych, zdjęcia mikrostruktur oraz opis wydzieleni grafitu i osnowy otrzymanego żeliwa. We wszystkich przypadkach uzyskano żeliwo o bardzo zbliżonym składzie chemicznym (0,042-0,043% Mg), o wytrzymałości na rozciąganie większej niż wynika to z zaleceń normy (542,8-551,0 MPa) i wydłużeniu A5 (9,91-10,52%) z próbek odlewanych na początku kadzi. Z badań wynika również, że po upływie ok. 15 minut następuje nieznaczny spadek tych parametrów. Wyniki badań uzyskane na próbce schodkowej pokazują, że wzrost grubości ścianki powoduje znaczne zmniejszenie liczby wydzieleni grafitu oraz udziału perlitu w osnowie, co jest zgodne z oczekiwaniami. Zarówno metodykę badań, sposób ich realizacji, uzyskane wyniki jak również ich analizę oceniam bardzo dobrze.

Drugi etap badań obejmował analizę wpływu parametrów technologicznych procesu sferoidyzacji obejmujących prędkość wprowadzania przewodu elastycznego, zawartość siarki w żelowie wyjściowym oraz temperaturę ciekłego metalu na przyswojenie (uzysk Mg). Badania prowadzono w zakresie prędkości podawania przewodu elastycznego od 25 do 29 m/min. Największy uzysk jako średnią z 10 pomiarów dla każdej prędkości stwierdzono przy prędkości 28 m/min. Zawartość siarki zmieniano w zakresie 0,004 do 0,009%. Dla niższej zawartości siarki przyswojenie magnezu wynosiło 36,36%, a dla wyższej 30,96%. Analizę wpływu temperatury prowadzono dla trzech temperatur 1480, 1500 oraz 1520°C. Najwyższy uzysk otrzymano dla temperatury 1480°C, która jest w warunkach Odlewni Matalpol wartością graniczną umożliwiającą prawidłowe zalanie form. W etapie tym dokonano również porównania uzysku otrzymanego przy sferoidyzacji hybrydowym przewodem elastycznym i przewodem „tradycyjnym” wypełnionym sproszkowanym sferoidyzatorem przy temperaturze 1500°C, zawartości siarki 0,005% i prędkości zmieniającej się w zakresie 25-29 m/min. Uzysk dla tych warunków pomiarowych zmieniał się w niewielkim zakresie. Ten etap badań również oceniam dobrze.

Trzeci etap badań polegał na przeprowadzeniu dwóch wytopów żeliwa wermikularnego z zastosowaniem hybrydowego przewodu elastycznego. W wytopie pierwszym założono końcową zawartość magnezu na poziomie 0,016-0,018%, a w drugim 0,012-0,013%. Podobnie jak w etapie pierwszym dla każdego wytopu przeprowadzono

analizę składu chemicznego, właściwości mechanicznych oraz analizę mikrostruktur. We wszystkich przypadkach otrzymano żeliwo wermikularne (odpowiednio EN GJV 350 dla wytopu 1 i EN GJV 300 dla wytopu 2) o założonym składzie chemicznym, stabilnej zawartości magnezu oraz wysokich właściwościach mechanicznych. Analiza metalograficzna wykazała ponad 80% udział grafitu wermikularnego w strukturze. Wykonane w ramach tego etapu badania i analizy oceniam również bardzo wysoko.

W trakcie lektury części badawczej pracy nasunęły się następujące pytania:

- w tabeli 2.4 przedstawiono skład żeliwa wyjściowego do procesu sferoidyzacji z jednej kadzi. Nie napisano czy zmieniał się skład chemiczny tego żeliwa pomiędzy K1 a K6, a czas przetrzymywania metalu w piecu mógł wynosić ok. 2 godzin,
- w tabeli 2.11 przedstawiono przykładowe zestawienie parametrów technologicznych uzyskanych dla wcześniej prowadzonych wytopów w Metalpol. Uzysk Mg w tych pomiarach dochodzi do 38,5% i jest znacznie wyższy od wartości otrzymanych w etapie 2. Dlaczego?,
- w tabelach 2.12 do 2.16 zamieszczono wartość uzysku dla różnych prędkości wprowadzania przewodu elastycznego. W tabelach tych podana jest zawartość siarki w żeliwie wyjściowym, a nie jest podana po procesie sferoidyzacji. Czy niewielkie różnice otrzymanego uzysku w funkcji prędkości uwzględniają proces odsiarczania?
- w tabeli 2.17 przedstawiono wyniki wpływu siarki w żeliwie wyjściowym na uzysk Mg. Moim zdaniem w tabeli brakuje zawartości siarki po procesie sferoidyzacji,
- proszę wyjaśnić, czy mierzono spadek temperatury podczas sferoidyzacji? Jeżeli tak to czy zauważono różnice pomiędzy sferoidyzacją przewodem „tradycyjnym” a hybrydowym?
- jak Pan wyjaśni uzyskanie powyżej 80% wydzieleń grafitu wermikularnego w strukturze żeliwa przy zawartości magnezu na poziomie 0,010%. Z wykresu 2.42 wynika, że przy tej zawartości magnezu tylko 40% wydzieleń grafitu będzie miało postać wermikularną?

Przedstawione powyżej niejasności nie stanowią zarzutów do pracy, a są tylko i wyłącznie przejawem ciekawości naukowej mającej na celu pełniejszą ocenę obróbki pozapiecowej metodą hybrydowego przewodu elastycznego.

Wniosek końcowy

Przeprowadzona ocena utwierdza mnie w przekonaniu, że rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Dyrłagi pt. Technologia wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego w warunkach Odlewni Matalpol przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego, ma charakter oryginalnej pracy naukowej i zawiera istotne elementy poznawcze. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a Jego praca jest oryginalnym i użytecznym osiągnięciem stanowiącym istotny wkład w stan wiedzy

w dyscyplinie Inżynieria materiałowa. Praca w znacznym stopniu poszerza wiedzę w zakresie możliwości prowadzenia procesu sferoidyzacji i wermikularyzacji przy zastosowaniu hybrydowego przewodu elastycznego. Są to pierwsze w kraju badania prowadzone z użyciem tej metody w tak szerokim zakresie.

Niewątpliwym osiągnięciem jest wdrożeniowy charakter dysertacji. Autor prowadził badania w warunkach przemysłowych, zachowując bardzo wąski zakres zmienności wielu parametrów procesu trudnych do osiągnięcia nawet w warunkach laboratoryjnych. Wymagało to niezwyklej staranności Doktoranta zarówno w planowaniu procesu badawczego jak również w trakcie realizacji eksperymentu. Bardzo szeroki zakres badań pozwolił ponadto na wnikliwą analizę i ocenę metody sferoidyzacji oraz wermikularyzacji żeliwa hybrydowym przewodem elastycznym.

Na uwagę zasługuje również fakt, że Pan mgr inż. M. Dyrłaga jest współautorem patentu „Sposób wytwarzania żeliwa zwłaszcza żeliwa wermikularnego oraz żeliwa sferoidalnego”, P.234059, co również podkreśla walory wdrożeniowe pracy.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr inż. Marcina Dyrłagi, 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 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami, wobec czego wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

