



Stalowa Wola, 12.05.2021 r.

dr hab. inż. Andrzej TRYTEK, prof. PRz
POLITECHNIKA RZESZOWSKA im. Ignacego Łukasiewicza
Wydział Mechaniczno-Technologiczny
Zakład Wytwarzania Komponentów i Organizacji Produkcji
ul. Kwiatkowskiego 4,
37-450 Stalowa Wola

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr inż. Marcina Dyrłagi,

pt.: „*Technologia wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego w warunkach
Odlewni Metalpol przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego*”,

której promotorem jest prof. dr hab. inż. Jerzy Zych

Zlecenie wykonania recenzji z dnia 15 marca 2021 roku, otrzymano od Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie dr hab. inż. Agnieszki Kopii, prof. AGH.

1. Tematyka rozprawy

Wśród wielu stopów odlewniczych na szczególną uwagę zasługują stopy żeliwa, które dzięki możliwości kształtowania mikrostruktury oraz umiarkowanych kosztach wytwarzania, wypierają inne materiały w wielu gałęziach przemysłowych. Właściwości żeliwa można kształtować poprzez zmianę składu chemicznego oraz kontroli warunków odlewania. Głównymi czynnikami wpływającymi na zmianę właściwości żeliwa jest kształt grafitu oraz rodzaj osnowy metalowej. Różnorodność właściwości sprawia, że żeliwo jest materiałem, nad którym ciągle prowadzone są prace naukowe w wielu ośrodkach krajowych i zagranicznych.

Współczesne wymagania stawiane przez odbiorców odlewów z żeliwa zmuszają producentów do coraz większych wyzwań technologicznych. Wykonywanie odlewów na wysokim poziomie jakości, z jednoczesnym utrzymaniem umiarkowanych kosztów, to trudne wyzwanie dla przedsiębiorstwa. Odlewnie rozwijają istniejące technologie i wprowadzają nowe rozwiązania, które są gwarancją najwyższej jakości i zapewniają stabilność procesu technologicznego odlewania żeliwa.

Wzrost zainteresowania przemysłu motoryzacyjnego i maszynowego odlewami z żeliwa przyczynił się do zwiększenia produkcji wysokojakościowego żeliwa z grafitem kulkowym oraz żeliwa z grafitem wermikularnym.

Oczekiwania odbiorców odlewów żeliwnych dotyczące obniżenia masy, zmniejszenia grubości ścianek i równolegle podwyższanie jego właściwości mechanicznych sprawia, że tematyka prac badawczych z zakresu odlewania żeliw jest ciągle aktualna, a jednym z najtrudniejszych zadań wytwarzania żeliwa jest proces pozapiecowej obróbki ciekłego metalu.

Tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej mgr inż. Marcina Dyrłagi pt.: *„Technologia wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego w warunkach Odlewni Metalpol przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego”*, wydaje się być bardzo trafna i potrzebna dla branży odlewniczej w Polsce zarówno pod względem użytkowym jak i poznawczym.

2. Charakterystyka i układ pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Dyrłagi liczy 126 stron, na które składają się: wstęp, część teoretyczna (składająca się z 4 podrozdziałów), część praktyczna (składająca się z 7 podrozdziałów) oraz spisów literatury, rysunków i tabel. W pracy zamieszczono 32 tabele, 4 wzory oraz 98 rysunków. Literatura zawiera 98 pozycji bibliograficznych.

W części teoretycznej rozprawy Autor scharakteryzował w rozdziale 1.1. żeliwo sferoidalne i wermikularne. Doktorant przedstawił mechanizm krystalizacji eutektyki z różnymi postaciami grafitu: płatkowego, wermikularnego oraz kulkowego. Na podstawie literatury scharakteryzowano czynniki wpływające na kształt grafitu; wtrącenia niemetaliczne, napięcie powierzchniowe i prędkość wzrostu kryształów. Dokonano porównania właściwości mechanicznych oraz fizycznych żeliwa sferoidalnego i wermikularnego. Przedstawiono także wpływ pierwiastków stopowych Mn, P, S, Cu, Sn na właściwości żeliwa oraz proces wermikularyzacji i sferoidyzacji. Scharakteryzowano metody wprowadzania zapraw: z użyciem dzwonów, zalewanie na dnie kadzi, bezpośrednio w formie i metodę przewodu elastycznego PE. Przedstawiono także stosowane w praktyce metody kontroli jakości żeliwa. W rozdziale 1.2 Autor omówił proces sferoidyzacji i wermikularyzacji metodą przewodu elastycznego PE. Analizowano skuteczność metody rozważając wpływ zawartości siarki, temperatury, ilości Mg w przewodzie elastycznym, prędkości wprowadzania PE do ciekłego metalu. Rozważania teoretyczne i analizę literatury zakończono podsumowaniem w rozdziale 1.3.

Część literaturową i praktyczną oddziela rozdział 1.4 Cel i zakres pracy. Przedstawione w części teoretycznej informacje oraz wieloletnie doświadczenie przemysłowe Autora przyczyniły się do określenia celu naukowego rozprawy oraz postawienia tezy, że:

„Zastosowanie w metodzie PE hybrydowego przewodu elastycznego pozwoli na wytworzenie, w sposób stabilny i powtarzalny odlewów z żeliwa wermikularnego i sferoidalnego”.

Określony cel pracy i postawiona teza zostały doprecyzowane, że odnoszą się do warunków przemysłowych Odlewni Metalpol w Węgierskiej Górze.

Rozdział 2.1, 2.2 i 2.3 poświęcono przedstawieniu koncepcji badań, budowy i parametrów hybrydowego przewodu elastycznego PE oraz metodyki badań. Wytworzenie żeliwa sferoidalnego z wykorzystaniem hybrydowego przewodu elastycznego przedstawiono w rozdziale 2.4. Do badań przyjęto żeliwo sferoidalne ferrytyczno-perlityczne EN-GJS 500-7 produkowane w odlewni Metalpol. Wytapianie żeliwa wyjściowego przeprowadzono w piecu indukcyjnym 6 tonowym. Zabieg sferoidyzacji prowadzono w kadzi zabiegowej o pojemności 1

tony. Proces sferoidyzacji prowadzono na specjalistycznym stanowisku z kontrolą wykorzystującą oprogramowanie komputerowe. Przygotowanym ciekłym żelivem zalewano formy odlewnicze na linii BMD oraz formy doświadczalne, w których odtworzono odlewy próbne do badań: wlewki Y, schodkowy. Dodatkowo odlewano próbki do analizy składu chemicznego i zalewano foremki odtwarzające próbki do badań ultradźwiękowych. Na podstawie przeprowadzonych prób oceniono skład chemiczny wytworzonego żeliwa sferoidalnego z każdej 1 tonowej kadzi na początku i na końcu zalewania. Dla każdej kadzi w odlanych próbkach przeprowadzono ocenę prędkości fali ultradźwiękowej c_L co 2 min w okresie $3 \div 15$ min od zakończenia sferoidyzacji. Właściwości mechaniczne R_m , $R_{p0,2}$, A_5 , HB oceniono z próbek pobranych z kadzi na początku i na końcu zalewania. Badania metalograficzne wykonano na mikroskopie optycznym. Oceniono mikrostrukturę osnowy (udział perlitu i ferrytu) oraz sklasyfikowano grafit (kształt, wielkość kulek, liczbę wydzieleni). Badania metalograficzne wykonano z wykorzystaniem fragmentów próbek wytrzymałościowych (wlewki Y z początku i końca zalewania). Na próbkach schodkowych oceniano wpływ grubości ścianki na wydzielenia grafitu oraz udział perlitu w osnowie.

W rozdziale 2.5 Autor przedstawił poziom przyswajalności magnezu podczas sferoidyzacji PE w warunkach produkcyjnych Odlewni Metalpol w Węgierskiej Górcie. Przeanalizowano wpływ prędkości podawania pręta w zakresie $25 \div 29$ m/min na zawartość Mg oraz jego uzysk. Ustalono, że dla prędkości podawania 28 m/min w żelivie uzyskano największą zawartość Mg = 0,0396 % i jego maksymalny uzysk 34,49 %. Stąd też kolejne analizy wpływu zawartości siarki i temperatury sferoidyzacji prowadzono dla tej prędkości. Maksymalny uzysk 36,36% Mg, w zależności od ilości siarki, otrzymano dla zawartości S = 0,004 %. Dla początkowej temperatury sferoidyzacji 1480 °C otrzymano maksymalny uzysk Mg = 39,22 %. Autor przeprowadził również analizę porównawczą wyników badań wpływu rodzaju pręta do sferoidyzacji na uzysk magnezu. W analizowanym zakresie prędkości podawania $25 \div 29$ m/min pręta hybrydowego PE oraz pręta N01 (ze sproszkowaną zaprawą Mg i z modyfikatorem), tylko przy prędkości podawania 28 m/min pręt hybrydowy ma wyższy uzysk Mg od pręta N01.

Wytworzenie żeliwa wermikularnego przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego PE przedstawiono w rozdziale 2.6. Parametry technologiczne prób dobrano na podstawie prób z I i II etapu badań doświadczalnych. Do badań przyjęto żeliwo gatunku EN-GJV 350. Wytapianie żeliwa prowadzono tak samo jak dla żeliwa sferoidalnego, z tym że proces wermikularyzacji prowadzono tak aby uzyskać obniżoną zawartość Mg niezbędną do uzyskania żeliwa wermikularnego. Zabieg wermikularyzacji prowadzono dla początkowej temperatury 1500 °C, a prędkość podawania pręta wynosiła 28 m/min. Zwiększono ilość wytopów do 2, po 6 ton każdy. W pierwszym wytopie jako docelową ilość Mg przyjęto $0,016 \div 0,018$ %, a w drugim $0,012 \div 0,013$ %. Analogicznie jak dla żeliwa sferoidalnego przygotowanym ciekłym żelivem zalewano formy odlewnicze na linii oraz formy doświadczalne, w których odtworzono odlewy próbne do badań: wlewki Y, schodkowy. Ze względu na zawężony zakres wermikularyzacji pobieranie próbek, do oceny składu chemicznego, odbywało się co 1 min w okresie $2 \div 12$ min od zakończenia wermikularyzacji. Na podstawie przeprowadzonych prób oceniono skład chemiczny wytworzonego żeliwa wermikularnego z każdej 1 tonowej kadzi na początku i na końcu zalewania oraz właściwości mechaniczne R_m , $R_{p0,2}$, A_5 , HB. Oceniono wpływ szybkości

stygnięcia (próbki schodkowe) na mikrostrukturę (udział perlitu i ferrytu) oraz sklasyfikowano grafit (kształt, wielkość oraz liczbę wydzielen). Dla tego rodzaju żeliwa nie przeprowadzono oceny prędkości fali ultradźwiękowej c_L .

Część praktyczną zakończono podsumowaniem pracy badawczej i wnioskami (rozdział 2.7). W części podsumowującej Autor odniósł się do przeprowadzonych badań i wpływu poszczególnych parametrów zabiegów sferoidyzacji/wermikularyzacji na zawartość Mg, a poprzez to na właściwości mechaniczne i strukturę żeliwa. Pracę zakończono sformułowaniem wniosków końcowych.

3. Ocena rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Dyrłagi zawiera błędy ortograficzne i stylistyczne. Autor nie ustrzegł się także błędów edytorskich i graficznych. Błędy nie są przytaczane w recenzji, zostały oznaczone w pracy i przesłane Autorowi.

Przytoczę kilka błędów formalnych i uchybień, na które Doktorant powinien zwrócić uwagę w dalszych opracowaniach naukowych i publikacjach.

- Podane na stronie 55 informacje dotyczące hybrydowego pręta PE wprowadzają w błąd: „... masa 1 mb czystego Mg w PE to 59,1 g/m ...” a „Masa całkowita 1 mb PE to 440 g, przy czym zawartość Mg stanowi 25%.” Ile modyfikatora znajduje się w 1 mb hybrydowego PE, a ile czystego Mg ?
- Na stronie 57 rozdział 2.3 Autor pisze: „Program badań odpowiadał wytycznym, które obowiązują przy produkcji żeliwa sferoidalnego”. A w części praktycznej rozdział 2.4 i 2.6, które dotyczą programów badań wytwarzania żeliw sferoidalnego i wermikularnego różnią się częstotliwością pobierania próbek do analizy składu chemicznego, ilością wytopów i kontrolą ultradźwiękową.
- Rozdział 2.4.5, str. 65, podano, że „Prędkość fali podłużnej charakteryzująca żeliwo sferoidalne powinna spełniać warunek $c_L > 5500$ m/s.” Skąd ta informacja? Brak również informacji o zastosowanej do kontroli ultradźwiękowej głowicy oraz jak przygotowano powierzchnię do badań i jaki zastosowano ośrodek sprzęgający.
- W tabeli 2.6, str. 66, dla kadzi nr 2 po 9 min uzyskano prędkość fali $c_L = 5750$ m/s. Skąd ta różnica w porównaniu do pozostałych danych dla kadzi nr 2 ?
- W opisach mikrostruktur na rysunkach 2.17÷2.22 i 2.25÷2.34 oraz 2.49÷2.68 brak informacji grafit (jaki ?), ferryt, perlit (udział %).
- Tytuł tabeli 2.10 jest niezrozumiały.
- Strona 87. Nie zrozumiała część zdania: „W czasie prowadzenia prób zawartość siarki powyżej poziomu 0,006% stanowiła zaledwie 8%,”

Wymienione powyżej uwagi oraz błędy ortograficzne, stylistyczne i edytorskie nie umniejszają wartości naukowej niniejszej pracy.

4. Osiągnięcia Doktoranta

Doktorant zaprezentował w rozprawie oryginalną metodykę badawczą opracowaną dla potrzeb realizacji celu naukowego pracy i udowodnienia postawionej tezy.

Autor opracował założenia technologiczne, które umożliwiły przeprowadzenie badań w warunkach produkcyjnych Odlewni Metalpol w Węgierskiej Górcie. Wymagało to opracowania i doboru parametrów sferoidyzacji/wermikularyzacji, przy użyciu nowego hybrydowego przewodu elastycznego PE, tak aby ten proces przebiegał stabilnie i powtarzalnie.

Dostosowanie prac badawczych do przeprowadzenia w warunkach produkcyjnych, bez wpływu na bieżącą produkcję, jest zadaniem trudnym i wymagającym. Doktorant dzięki wieloletniemu doświadczeniu produkcyjnemu, umiejętności przewidywania oraz konieczności wykonywania prób i badań, wykazał duże predyspozycje naukowe w opracowanej metodyce badawczej i przeprowadzonych doświadczeniach.

W celu uzyskania materiału do badań Doktorant opracował specjalistyczną formę odlewniczą, która umożliwiła odlanie wielu próbek, w jednej formie, poprzez jedno zalanie z danego wytopu lub kadzi.

Proces wermikularyzacji jest bardzo wrażliwym procesem obróbki ciekłego metalu. Wynika to z wąskiego zakresu zawartości Mg, w celu otrzymania grafitu wermikularnego oraz krótkiego przedziału czasowego, od końca zabiegu do zaniku efektu wermikularyzacji, który zapewnia uzyskanie żeliwa wermikularnego. Stąd też uzyskanie żeliwa wermikularnego przez Doktoranta w warunkach przemysłowych potwierdza Jego umiejętność planowania oraz koordynacji zadań technologicznych i badawczych, a także wysoki poziom technologiczny odlewni.

Warto podkreślić, że Doktorant jest również współautorem patentu P.234059 „Sposób wytwarzania żeliwa zwłaszcza żeliwa wermikularnego oraz żeliwa sferoidalnego”, co dodatkowo świadczy o wdrożeniowym charakterze pracy.

5. Uwagi i pytania do Doktoranta

Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina Dyrłagi proszę o odpowiedź na poniższe pytania:

1. Dlaczego w badaniach procesu wermikularyzacji (roz. 2.6) nie przeprowadzono oceny prędkości fali ultradźwiękowej c_L ?
2. Temperatura spustu 1500 ± 10 °C. Dlaczego przyjęto tak dużą tolerancję? Jeśli później (roz. 2.5.3) badano wpływ temperatury na uzysk magnezu dla temperatur 1540, 1500, 1480 °C?
3. Strona 100, Autor pisze, że uzyskane wyniki z pierwszego wytopu odpowiadają żeliwu wermikularnemu EN-GJV-350, a z drugiego wytopu żeliwu wermikularnemu EN-GJV-300. Jednocześnie poniżej znajduje się sformułowanie: „Zmienna zawartość magnezu w granicach od 0,010 do 0,018% nie wpłynęła na właściwości żeliwa zarówno pod względem wytrzymałości na rozciąganie R_m jak i wydłużenia A_5 ”. A przecież gatunki żeliwa EN-GJV-350 i EN-GJV-300, to różne właściwości wytrzymałości na rozciąganie R_m jak i wydłużenia A_5 .
4. Na stronach 79 - 80 stwierdzono, że wtórna modyfikacja „... nie wpłynęła na dalszą poprawę właściwości żeliwa ...”, a we wniosku nr 8, str. 113, stwierdzono: „Pierwotna i wtórna modyfikacja wpłynęły na zmniejszenie wrażliwości żeliwa na szybkość stygnięcia”. Które z tych stwierdzeń jest właściwe ? I skoro tak stwierdzono, to czy prowadzono inne badania porównawcze?



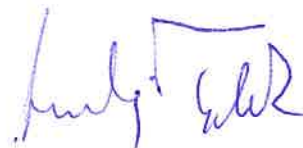
6. Wniosek końcowy

Rozprawa mgra inż. Marcina Dyrłagi pt.: *„Technologia wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego w warunkach Odlewni Metalpol przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego”*, spełnia wymagania dotyczące prac doktorskich:

- przedstawioną w rozprawie tezę Doktorant udowodnił i poparł uzyskanymi wynikami badań, które zrealizował zgodnie z przedstawionym planem badawczym,
- opracował założenia technologiczne i oryginalną metodykę badawczą, które umożliwiły przeprowadzanie badań oraz opracowanie badawczej formy odlewniczej,
- przedstawił wyniki badań w formie graficznej, tabel oraz ich opisy i interpretację,
- zrealizowana praca wnosi nową wiedzę do praktyki odlewniczej i jest oryginalnym naukowym wkładem w rozwoju branży odlewniczej.

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Marcina Dyrłagi jest oryginalnym opracowaniem, w którym dowiódł umiejętność samodzielnego planowania badań, rozwiązywania zadań badawczych poprzez analizę literatury, planowanie i opracowanie eksperymentu badawczego. Doktorant wykazał również predyspozycje do opracowania, interpretacji i analizy wyników badań.

Mając na uwadze powyższe stwierdzenia uważam, że rozprawa doktorska mgra inż. Marcina Dyrłagi pt.: *„Technologia wytwarzania żeliwa wermikularnego i sferoidalnego w warunkach Odlewni Metalpol przy użyciu hybrydowego przewodu elastycznego”*, spełnia wymagania 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. W związku z tym wnioskuję, do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie, o dopuszczenie do publicznej obrony mgra inż. Marcina Dyrłagi.



Andrzej Trytek