

dr hab. inż.
Ryszard Władysław, prof. PŁ
Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji
Politechnika Łódzka
ul. Stefanowskiego 1/15
90-924 Łódź

Łódź, dn.29.05.2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Rondudy

pt.: "Ocena stabilności jakości metalurgicznej żeliwa sferoidalnego metodą
analizy termicznej"

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa
Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

1. Ocena podjętego obszaru tematycznego

Recenzowana praca doktorska jest z obszaru Metalurgii. Praca jest odpowiedzią na ważny problem produkcyjny polegający na zmianie stanu fizykochemicznego ciekłego żeliwa podczas długotrwałego przetrzymywania w piecu, co w konsekwencji prowadzi do występowania wad w wytwarzanych odlewach. W pracy podjęto badania nad opracowaniem parametrów technologicznych obróbki pozapiecowej ciekłego żeliwa sferoidalnego w warunkach dynamicznie zmieniającej się jego jakości oraz opracowaniem diagnostyki stanu fizykochemicznego ciekłego stopu za pomocą analizy termicznej krzepnącej próbki stopu. Praca zawiera dużą liczbę wyników badań przeprowadzonych zarówno w warunkach laboratoryjnych jak również podczas produkcji seryjnej odlewów w przedsiębiorstwie Odlewnie Polskie S. A.. Obejmuje ona badania wpływu rodzaju i ilości modyfikatorów stosowanych w procesie metalurgiczno-odlewniczym żeliwa sferoidalnego na ocenę i utrzymanie jakości ciekłego stopu w czasie jego rozlewania do form na liniach odlewniczych. Na podstawie tych analiz opracowano parametry sterowania procesem wytapiania żeliwa, opracowano modele modyfikacji dynamiczno-elastycznej żeliwa na strugę ciekłego żeliwa umożliwiających utrzymanie wymaganej jakości ciekłego żeliwa w czasie zalewania form.

W pracy doktorskiej mgr inż. Marka Rondudy do oceny jakości metalurgicznej ciekłego żeliwa, zdefiniowanej w tezie pracy jako zdolność do nietworzenia wad skurczowych

w odlewie, zastosowano komputerowy system ATAS firmy Novacast, który w wyniku analizy termicznej procesu krzepnięcia i stygnięcia próbki stopu oblicza wartości parametrów charakterystycznych dla badanego żeliwa. Badania te są odzwierciedleniem światowego trendu stosowania analizy termicznej i derywacyjnej procesu krystalizacji ciekłego stopu do opisu i obliczenia kinetyki i efektów cieplnych krystalizacji każdej fazy, oceny składu chemicznego, efektywności przeprowadzonych zabiegów metalurgicznych i identyfikacji krystalizujących faz oraz prognozowania właściwości mechanicznych, własności fizycznych czy użytkowych wytwarzanych odlewów wielokrotnie opisywane w czasopismach naukowych (Archives of Foundry: nr 4/2002, 15/2005, 19/2006). Ponadto, analizowany obszar badawczy jest bardzo interesującą i obiecującą technologią. Wdrożenie w Odlewni technologii poprawy stabilności jakości ciekłego żeliwa, stanowiącego zasadniczy zasób produkcyjny odlewanych części maszyn, powinno przełożyć się na zmniejszenie liczby braków produkcyjnych, wzrost rentowności i konkurencyjności przedsiębiorstwa.

2. Szczegółowa analiza i ocena rozprawy

Rozprawa liczy 144 strony, zawiera 125 rysunków i 15 tabel zredagowanych w dwóch częściach i 11 rozdziałach. Bibliografia zawiera 87 pozycji literaturowych. Praca pod względem edytorskim jest wykonana starannie.

W pierwszej części pracy - Części Literaturowej Autor na 62 stronach z pomocą 66 rysunków i 3 tabel przedstawia zasadnicze obszary aktualnego stanu wiedzy. Analiza ta jest bardzo obszerna. Zawiera dużo elementów typu podręcznikowo - informacyjnego zamiast polemicznego, przedstawiającego w postaci dyskusji różne poglądy na omawiane zagadnienia. Po zwięzłym przedstawieniu w rozdziale 1 podstawowej klasyfikacji żeliw oraz czynników wpływających na mikrostrukturę i właściwości żeliwa, w rozdziałach 2 i 3 Autor szeroko omawia przebieg krystalizacji żeliwa szarego i sferoidalnego, tworzenie faz przedeutektycznych i eutektyki w żeliwie w zakresie podeutektycznym, eutektycznym i nadeutektycznym, wyjaśniając znaczenie stref sprężonego wzrostu w eutektyce, wieloetapowy proces krystalizacji grafitu kulkowego w żeliwie sferoidalnym, zjawisko rozszerzalności przedskurczowej grafitu i powstawanie wad skurczowych oraz wpływ aktywności tlenu i siarki na morfologię grafitu i wydłużenie względne żeliwa.

W rozdziale 4 Autor przedstawia rodzaje systemów analizy termicznej a następnie szczegółowo opisuje system ATAS, jego modułową budowę i znaczenie obliczanych parametrów charakteryzujących przedmiot analizy. W pierwszych zdaniach rozdziału 4.2 Autor przedstawia uproszczoną ideę działania systemu pisząc, (w.1, str.46): „ATAS pobiera „odcisk palca” wytopu i koreluje go z aktualnym wynikiem”. O ile użycie zapożyczonego z daktyloskopii określenia można uzasadnić, gdyż sugeruje niezmienność i niepowtarzalność wyników analizy termicznej danego stopu to jednak jego korelowanie z „aktualnym wynikiem” wywołuje pytanie o znaczenie tych dwóch określeń. Czy któreś z nich pełni rolę bazy danych porównanej przez Autora do „serca systemu”?

Za bardzo interesujące i dobrze odzwierciedlające istotę pracy oceniam w tej części rozdział od 4.3 do 4.5 (Wady skurczowe w odlewach z żeliwa sferoidalnego; Krystalizacja żeliwa i jej ocena analizą termiczną; Wpływ topienia i obróbki pozapiecowej na jakość metalurgiczną). Autor definiuje rodzaje powstających w odlewach wad, opisując mechanizm i przyczyny ich powstawania oraz przedstawia zmiany parametrów analizy termicznej ATAS informujące o ryzyku występowania wad określonego rodzaju (Jamy skurczowe, Porowatości, Zabielenia, Zabielenia wtórne) jak i o efektywności zabiegu modyfikacji stopu za pomocą wskaźników GRF1 i GRF2. W rozdziale 4.4 Autor szczegółowo opisuje proces krystalizacji żeliwa, wyjaśniając jednocześnie znaczenie charakterystycznych parametrów systemu ATAS. Prowadząc logiczne rozważania na temat wpływu zmian podstawowego składu chemicznego, efektywności zarodkowania i szybkości chłodzenia odlewu, Autor wykazuje zasadność stosowania wybranych parametrów systemu ATAS i wyjaśnia znaczenie zmian ich wartości dla diagnozowania procesów fizykochemicznych zachodzących w stygnącej próbce żeliwa. Autor omawia tutaj kilka parametrów definiowanych w różny sposób jednak bardzo bliskich znaczeniowo: Aktywny równoważnik węgla (ACEL), Prawdziwy punkt eutektyczny (TEP) używając jednocześnie w tekście określenia „równoważnik węgla” (str.61) i oznaczenia „CEL” (str.62) a także w dalszej części pracy: CACEL (str.99) i CE- nazwanego spektralnym równoważnikiem węgla (str.99).

Czy nie powinien Autor w tym miejscu dodatkowo wyjaśnić konieczności stosowania tak wielu określeń, i czy w analizie wpływu szybkości chłodzenia miał na myśli Aktywny równoważnik węgla (ACEL) czy Eutektyczny równoważnik węgla S_c ”, który w literaturze

podstawowej przedmiotu, wraz ze stopniem nasycenia eutektycznego S_c definiują stopień odchylenia składu chemicznego od punktu eutektycznego.

W rozdziale 4.5 Autor przedstawia wpływ temperatury zalewania na jakość metalurgiczną definiowaną za pomocą parametrów ATAS: R - rekalescencji, GRF1 i GRF2 – współczynników grafitu. **Wskaźniki te mimo, że mają wymiar liczbowy, dość enigmatycznie określono jako charakteryzujące dynamikę krystalizacji grafitu w obszarze eutektycznym. Czy nie lepiej byłoby zdefiniować GRF1 i GRF2 za pomocą formuły obliczeniowej?**

W dalszej części rozdziału zanalizowano efektywność działania 6 rodzajów modyfikatorów, opisano ją za pomocą wskaźników systemu ATAS oraz określono optymalną zawartość modyfikatora i czas zaniku efektu modyfikacji w żeliwie. W rozdziale 5 przedstawiono obszernie uzasadnienie podjęcia tematu pracy wynikające wprost z realiów funkcjonowania firmy Odlewnie Polskie S.A. na rynku europejskim, potwierdzone znaczącym udziałem wad skurczowych w strukturze braków produkcyjnych firmy.

W drugiej części pracy Autor z pomocą 59 rysunków i 15 tabel przedstawił tezy i cel pracy, metodykę i wyniki badań własnych oraz wnioski z przeprowadzonych w pracy badań.

W pracy zaproponowano 5 tez oraz następującą tezę główną: „Przez sterowanie (monitorowanie, kontrolę) metodą analizy termicznej dynamicznie zmieniającej się jakości metalurgicznej ciekłego stopu, można stabilizować proces wytwarzania żeliwa sferoidalnego i zapobiegać wadom skurczowym w odlewach”.

Tezy i cel pracy zostały postawione prawidłowo i w pełni ujmują analizowany obszar badawczy.

Bardzo dobrze przedstawiono w rozdziale 8 metodykę badań. Z zebranych tam opisów, rysunków i analiz można w pełni poznać zarówno proces przygotowania prób i odlewów badawczych w warunkach laboratoryjnych jak również w warunkach przemysłowych. Przedstawiono zestawienie wsadu do wytopu żeliwa sferoidalnego i metod sferoidyzacji żeliwa, przygotowanie form i odlewów do prób technologicznych, procesy zalewania, modyfikacji wtórnej i kontroli ciekłego stopu na stanowisku systemu ATAS oraz przygotowanie odlewów i wykonanie badań właściwości mechanicznych oraz badań mikrostruktury.

Kolejną część pracy, stanowią wyniki badań. W podrozdziałach od 9.1 do 9.5 przedstawiono: wpływ premodyfikacji na jakość metalurgiczną ciekłego stopu, ocenę wpływu różnych rodzajów modyfikatora i jego ilości na jakość metalurgiczną ciekłego stopu, wpływ modyfikowania modyfikatorem FeSi ciekłego stopu na pierwotne ziarno, strukturę i morfologię grafitu oraz właściwości mechaniczne, dobór parametrów wytapiania i obróbki pozapiecowej żeliwa sferoidalnego na odlewy metodą analizy termicznej oraz ocenę jakości metalurgicznej żeliwa podczas zalewania do form.

Większość wyników tych badań zredagowano w bardzo przejrzysty sposób z wykorzystaniem tabel i wykresów (oprócz rysunków: 2.15, 2.19, 2.33, których opisy są nieczytelne), charakteryzując analizowane wytopy żeliwa wskaźnikami jakości metalurgicznej w funkcji rodzaju i ilości zastosowanego modyfikatora oraz mikrostrukturą i właściwościami mechanicznymi odlewanego żeliwa w zależności od grubości ścianki odlewu.

Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań przedstawione w rozdziale 9.4, w którym opisano badania nad uruchomieniem produkcji nowego odlewu korpusu zaworu wysokociśnieniowego. Zastosowano w nich sferoidyzację żeliwa w kadzi smukłej za pomocą przewodu elastycznego, z modyfikacją pierwotną i wtórną realizowaną metodą na strugę, modyfikatorem Ultraseed. W efekcie przeprowadzenia 3 serii badań przemysłowych, analizy parametrów jakościowych wytapianego żeliwa oraz symulacji komputerowej odlewu systemem Procast, określono warunki prowadzenia wytopu żeliwa opisane parametrami kontrolnymi systemu ATAS, które zapewniły brak wad skurczowych w odlewach, co potwierdzono oceną przekrojów wykonanych odlewów.

W ostatniej części wyników badań (r. 9.5) dotyczącej oceny jakości metalurgicznej żeliwa podczas zalewania form Autor wykazał między innymi, że jakość metalurgiczna ulega istotnym zmianom zarówno w warunkach produkcyjnego przetrzymywania w piecu jak i w czasie jego rozlewania do form. Ponadto, stwierdził, że wprowadzenie 0,15% modyfikatora do próbnika zalewanego końcową porcją stopu z kadzi poprawia jakość krystalizacji grafitu.

W rozdziale 10 Autor przedstawia szczegółową analizę opracowanych wcześniej wyników badań dowodząc w niej realizacji założonego celu badań. Przedstawia zbiorcze zależności jakości metalurgicznej ciekłego stopu od sposobu premodyfikacji na strugę i do pieca dodatkami różnych modyfikatorów oraz modele zmiennego dozowania modyfikatora. Autor wykazuje, że programując dozowanie modyfikatora na strugę, można uzyskać

stabilność jakości metalurgicznej ciekłego stopu podczas jego zalewania do form. Jednocześnie wskazuje na konieczność stosowania specjalnego podajnika o programowalnej w czasie wydajności modyfikatora i przedstawia opracowane założenia techniczne Systemu Modyfikacji Dynamiczno-Elastycznej.

W rozdziale 11 - podsumowanie i wnioski, Autor w sposób zwięzły i rzeczowy, formułując pięć wniosków oraz dwa twierdzenia, potwierdził zrealizowanie postawionego celu pracy i udowodnienie tezy głównej.

W świetle bardzo dużej ilości przedstawionych w pracy wyników badań, należy stwierdzić, że praca ta stanowi duży wkład w rozwój nauki w zakresie sterowania za pomocą metody analizy termicznej, stabilnością procesu wytwarzania żeliwa sferoidalnego i zapobiegania wadom skurczowym w odlewach i tym samym w pełni realizuje postawiony cel rozprawy w ramach wykonanych badań.

3. Ocena końcowa

W rozdziale poprzednim wskazałem zauważone przeze mnie niedopowiedzenia czy niejasności w pracy. Omawiane przez doktoranta zagadnienie jest jednak bardzo obszerne, co niewątpliwie mogło powodować trudności w jego kompleksowym ujęciu. Zauważone niedopowiedzenia należy uznać raczej za dowód bardzo dużego zaangażowania Autora całością problematyki i chęcią wyjaśnienia najistotniejszych obszarów – co mgr inż. Marek Ronduda zrobił. Pracę czyta się bowiem z dużym zaciekawieniem. Widać ponadto, że Autor wykazał się umiejętnością prowadzenia badań, dużym zaangażowaniem w tę problematykę i z pewnością będzie ją dalej kontynuował.

Podsumowując uważam, że praca ta wnosi duży wkład w rozwój nauk technicznych oraz zawiera interesujące i szeroko udokumentowane przesłanki w kierunku wykorzystania przedstawionych wyników w praktyce odlewniczej. Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marka Rondudy „Ocena stabilności jakości metalurgicznej żeliwa sferoidalnego metodą analizy termicznej” spełnia wymagania określone w Ustawie o Stopniach i Tytule Naukowym. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Marka Rondudy do publicznej dyskusji nad tą rozprawą doktorską przed Radą Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

