

Kraków, 18.02.2021 r.

Prof. dr hab. inż. Dariusz Kopyciński
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Odlewnictwa, Katedra Inżynierii Stopów i Kompozytów Odlewnych

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej Pana mgra inż. Oswalda Krazy, pt.:

„Ocena zabiegu sferoidyzacji żeliwa metodą analizy termicznej procesu stygnięcia i krzepnięcia”

opracowanej na zlecenie Kierownika dyscypliny naukowej inżynierii materiałowej dra hab. inż. Rafała Prusaka, prof. PCz w Częstochowie (pismo nr R-WiPiTM-BD-421/2020 z dnia 18 grudnia 2020 r.)

Przedstawiona do recenzji praca doktorska dotyczy wykorzystania nowatorskiej analizy termicznej do oceny zabiegów metalurgicznych podczas wytwarzania żeliwa sferoidalnego, przy wykorzystaniu autorskiego programu doktoranta. Promotorem pracy jest Pan Prof. dr hab. inż. Zbigniew Konopka. Przy założeniu, że wspomniana metoda analizy termicznej sprzężona z programami do symulacji procesów krzepnięcia i zasilania odlewów stworzy innowacyjne narzędzie do szybkiej oceny i także pewnej stabilizacji stanu fizykochemicznego ciekłego metalu, to niewątpliwie przyczyni się do wytwarzania odlewów dobrej jakości pozbawianych wad. Tytuł pracy odpowiada zawartej treści a sama rozprawa doktorska stanowi istotne rozwiązanie problemu związanego z utrzymaniem stabilności technologii otrzymywania żeliwa sferoidalnego. Należy więc uznać, że podjęta przez mgra inż. Oswalda Krasę tematyka badawcza jest aktualna i mieści się w zakresie dyscypliny inżynierii materiałowej. Podczas realizacji zagadnień badawczych w warunkach przemysłowych wykonano wytopy trzech gatunków żeliwa, a mianowicie EN-GJS-400-15, EN-GJS-600-10 i EN-GJS-500-7, w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości o pojemności 3 Mg. Zbieg sferoidyzowania wykonano metodą przewodu elastycznego. Natomiast proces modyfikacji dotyczył dwóch etapów tj. na strugę metalu podczas przelewania metalu z pieca do kadzi przed zabiegiem sferoidyzowania oraz w etapie drugim był związany z podobnym zabiegiem również na strugę metalu jednak w tym przypadku podczas zalewaniu form.

Ocenę zabiegu sferoidyzowania przeprowadzono na podstawie porównania zdefiniowanych parametrów otrzymanych z krzywych krystalizacji i stygnięcia odlewu przed i po zastosowaniu zabiegu sferoidyzowania. Przy czym analiza wyników badań uwzględniała pomiary zawartości magnezu wykonane metodą analizy spektralnej. Innowacyjność rozwiązania zaproponowanego w pracy polega na próbie powiązania ilości magnezu w ciekłym metalu z otrzymaniem odlewu bez wad typu porowatość, rzadzizna czy

jama skurczowa. Inaczej mówiąc prawidłowa ocena końcowej zawartości Mg umożliwia skuteczną optymalizację procesu technologicznego. Wartości magnezu odbiegające od normatywnych przyjętych w praktyce odlewniczej prowadzą do ukształtowania niechcianego w tym przypadku grafitu: płatkowego, wermikularnego lub typu „chunky”.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska stanowi autorskie opracowanie o objętości 155 stron. Praca składa się z 11 rozdziałów i 15 podrozdziałów. Spis tabel i rysunków zawiera 39 tabel i 212 rysunków, ponadto autor rozprawy doktorskiej powołał się na 144 pozycje aktualnej literatury. Doktorant po wprowadzeniu w tematykę rozprawy we wstępie pracy w rozdziale I w tzw. przeglądzie literatury przedstawia podstawową charakterystykę żeliwa sferoidalnego włączając w to gatunki, właściwości mechaniczne, zdefiniowanie procesu sferoidyzacji żeliwa (metody oraz analiza zawartości magnezu i jego oddziaływania na postać geometryczną grafitu oraz na zawartość tlenu w ciekłym metalu). Również w tym rozdziale zostaje przybliżona aktualna wiedza na temat różniczkowej analizy termicznej (ATD). W tej części pracy pojawia się również odniesienie do znanego komercyjnego systemu analizy termicznej ATAS. Autor rozprawy wprowadza techniczne skróty - oznaczenia z programu ATAS, jednak jednoznacznie brakuje przykładowego zrzutu ekranu tej metody (w formie graficznej), co zwiększyłoby czytelność przedstawianego materiału. Następnie na stronie 30 znajduje się opis parametrów krystalizacji oraz ich wpływ na strukturę w tym wypadku na morfologię grafitu. W tym właśnie miejscu doktorant powinien zdefiniować pojęcie grafitu przechłodzonego typu D i innych jego morfologii, chociażby w postaci rysunkowej. Wcześniej w tekście można znaleźć informacje na temat grafitu eksplozyjnego bez pokazania jego morfologii versus inne rodzaje grafitu występującego w strukturze żeliwa. Ponadto istotnym mankamentem części literaturowej jest przyjęta metoda zestawienia publikacji oraz jej niekonsekwentne cytowanie. Stąd może wynikać problem niezacytowania w tekście rozprawy wszystkich zestawionych publikacji znajdujących się w rozdziale Literatura.

W dalszej części pracy doktorant analizuje zmiany w składzie chemicznym żeliwa głównie pod kątem zawartości węgla i jego synergicznego wpływu z innymi pierwiastkami stopowymi na krystalizację podstawowych faz i w efekcie końcowym na strukturę. Pozostała część teoretyczna to szczegółowa charakterystyka krystalizacji żeliwa szarego dotycząca struktury oraz właściwości mechanicznych a także zjawisk skurczowych. Krystalizacja rozważana jest również pod kątem wpływu wybranych modyfikatorów i procesu modyfikacji na porowatość skurczową odlewów. Do osiągnięcia w tej części pracy należy zaliczyć zrozumiałe wyjaśnienie kształtowania się wad odlewniczych w żeliwie sferoidalnym typu: jama skurczowa, porowatość i rzadizna. Dodatkowo należy stwierdzić, że wiedza zaprezentowana w części literaturowej pozwoliła doktorantowi przyjąć poprawną metodykę badań oraz sformułować tezę pracy oraz cele pracy. Przyjęta teza pracy doktorskiej wskazuje na nowatorską próbę skorelowania wpływu magnezu (i tlenu) na pojawianie się wad odlewniczych w żeliwie sferoidalnym. Osobiście zaproponowałbym dwie tezy w zamian za tą jedną podaną przez doktoranta, tj.:

- 1) Zabieg sferoidyzowania zwiększa kąt VH widoczny w etapie końcowym krystalizacji eutektyki grafitowej podczas analizy ATD, oraz
- 2) Wartość kąta VH jest bezpośrednio powiązana z końcową zawartością magnezu (i tlenu) w żeliwie oraz może być wskaźnikiem oceny jakości metalurgicznej żeliwa sferoidalnego.

Myślę, że w tym miejscu mogę skierować pytanie do doktoranta, co kryje się pod pojęciem jakości metalurgicznej żeliwa? W celu udowodnienia tezy pracy doktorant zaprojektował i zbudował stanowisko badawcze, wykonał oprogramowanie komputerowe i skalibrował stanowisko badawcze w celu zwiększenia precyzji prognozowania właściwości żeliwa sferoidalnego oraz zbudował bazę danych zawierającą informacje dla próbek, w zakresie stosowanej zawartości Mg dla żeliwa podeutektycznego, eutektycznego i nadeutektycznego. Badania zostały przeprowadzone podczas wytopów przemysłowych dla trzech wspomnianych gatunków żeliwa sferoidalnego. Baza danych dotyczy 35 wytopów i 70 odlanych próbek z żeliwa wyjściowego i żeliwa sferoidalnego. Z powodu, że metodyka badań nie zawiera danych związanych z próbkami do badań mikrostruktury, więc proszę o podanie tej informacji. Dodatkowo w tym miejscu nasuwa się pytanie związane z jakim poziomem temperatury zalewano kubki pomiarowe ciekłym metalem. Czy temperatura zalewania była zaplanowana, czy przypadkowa? oraz czy poziom wypełnienia kubka ciekłym metalem posiada istotny wpływ na krzywą ATD? Powyższe pytania nasuwają się po analizie zamieszczonych mikrostruktur żeliwa sferoidalnego i porównaniu ich z bazą przewidywanych właściwości oraz z krzywymi krystalizacji i stygnięcia żeliwa. Na rys. II.160 – II.163 znajdują się podobne mniej lub bardziej nadeutektyczne struktury żeliwa sferoidalnego. Natomiast kąt VH zmienia swoją wartość od poziomu 46° do 70° , a w prognozach przedstawionych przez doktoranta jest różnie, a mianowicie otrzymano struktury w kolejności od eutektycznej, podeutektycznej, nadeutektycznej i znów podeutektycznej. Czy nie wystąpiła w tym przypadku jakiegoś rodzaju sprzeczność? Również dla tej konkretnej analizy nasuwa się pytanie do doktoranta, czy na prezentowanych krzywych krystalizacji jest wyraźna informacja o przystankach przedeutektycznych?

Należy podkreślić dobrze wykonaną w pracy doktorskiej analizę współczynników korelacji między prognozowanym składem chemicznym żeliwa, właściwościami mechanicznymi, i parametrami analizy termicznej odlewów próbnych. W badaniach tych doktorant uwzględnił powiązanie zawartości magnezu po zabiegu sferoidyzowania dla wartości zbadanej i wartości kąta VH wg przeprowadzonej analizy termicznej. Zatem końcową zawartość magnezu w żeliwie sferoidalnym wyznacza kąt VH, który jest jednym z parametrów analizy termicznej. Tym samym teza pracy została udowodniona oraz niewątpliwie mogę stwierdzić, że doktorant posiada duże umiejętności w prowadzeniu badań doświadczalnych. Dodatkowo poproszę autora rozprawy o wyjaśnienie jeszcze jednego zagadnienia związanego ze zjawiskami decydującymi o kształcie wykresu ATD w końcowej fazie krystalizacji odlewu – jakiego rodzaju zjawiska tam dominują? Co do formalnej oceny, recenzowana praca jest napisana poprawnie również językowo, jednak zawiera pewne błędy edytorskie oraz pomyłki czy niejasności. I tak dla przykładu wymienię kilka z nich:

- Str. 7 - drugi akapit od dolnej części strony - błąd edytorski.
- Str. 8 - jest... rodzaj osnowy, powinno być - rodzaj osnowy metalowej.
- Str. 9, 10, 11, 12, 18, 20, 26, 35-38 - w tabelach lub rysunkach brakuje przypisania źródła w przypadku powołania się na literaturę lub zaznaczenia, że jest to praca własna.
- Str.13 - jest... zmienia stan fizykochemiczny żeliwa, powinno być... zmienia stan fizykochemiczny ciekłego metalu.

- Str. 14 - drugie zdanie w pierwszym akapicie wymaga poprawy.
- Str. 15 - opis parametru %MgR wymaga wyjaśnienia.
- Str 22 - jest... mg, powinno być... Mg.
- Str 29 - zdania zaczynające się; w równaniu I.17 oraz w równaniu I.18 wymagają korekty numerów równań.
- Str 32 - w zdaniu,co pokazano na fragmencie wykresu analizy termicznej (rys. I.13).... - powinien być wymieniony rys. I.15.
- Str. 35 - w tekście pracy brakuje wyjaśnienia oznaczeń podanych na rys. I.17.
- Str. 37 - opis pod rys. I.21 zawiera pojęcie układu stabilnego; inne tego typu wykresy w pracy nie mają takiego wyróżnienia, proszę o wyjaśnienie.
- Str. 41 - opis rys I.29 wymaga korekty.
- Literatura – poz. [28] brakuje tytułu, poz. [30] brakuje stron, poz. [35] brakuje stron, poz. [38], [44] itd.

Powyższe merytoryczne uwagi mają charakter dyskusyjny i nie zmieniają faktu, że recenzowaną pracę doktorską oceniam jako ważną. Przeprowadzone badania wnoszą wkład w rozwój inżynierii materiałowej między innymi w wyniku bezpośredniego zastosowania czyli inaczej mówiąc wdrożenia w przemyśle oraz są zaplanowane i przeznaczone dla produkcji wysokojakościowych odlewów pozbawionych wad. Najważniejszym osiągnięciem przedstawionych badań jest podjęcie próby powiązania zawartości magnezu z kątem VH zdefiniowanym na wykresach analizy termicznej oraz tym samym prognozowanie na tej podstawie otrzymania danego typu struktury żeliwa sferoidalnego. **Dlatego, według mnie praca doktorska mgr inż. Oswalda Krazy, pt.: „Ocena zabiegu sferoidyzacji żeliwa metodą analizy termicznej procesu stygnięcia i krzepnięcia” spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych wobec czego wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej w Politechnice Częstochowskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Dariusz Kopycki