

Kraków 14.02.2020

Prof. dr hab. inż. Dariusz Kopyciński
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica
Wydział Odlewnictwa
ul. Reymonta 23, 30-059

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Malwiny Dojki,
pt.: "Znaczenie strontu i tytanu w kształtowaniu mikrostruktury
i własności żeliwa chromowego"**

*Recenzja wykonana na zlecenie przewodniczącej Rady Dyscypliny Materiałowej
Prof. dr hab. inż. Mari Sozańskiej w Politechnice Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
(Nr pisma RDIMA25/006/2019/20)*

1. Charakterystyka podjętej problematyki naukowo-badawczej

Rozprawa doktorska mgr inż. Malwiny Dojki dotyczy ważnego pod względem aplikacyjnym zagadnienia, którym jest zwiększenie odporności na zużycie ściernie oraz wydłużenie czasu pracy odlewów z żeliwa chromowego. Żeliwo odporne na zużycie ściernie jest szeroko znanym i stosowanym materiałem w wielu gałęziach przemysłu. W Polsce kilka ośrodków naukowych zajmuje się tym materiałem, w tym Politechnika Śląska. Podstawy krystalizacji stopów oraz istotne metody sterowania właściwościami żeliwa chromowego zostały poznane i opisane w ubiegłym wieku przez wielu autorów w Polsce oraz za granicą. Natomiast w pierwszych latach XXI wieku w literaturze przedmiotu powstało wiele prac związanych z wprowadzaniem do żeliwa chromowego różnych dodatków stopowych mających za zadanie podwyższyć właściwości abrazyjne oraz udarność tego materiału oraz właściwości związane z parametrami nowoczesnej obróbki cieplnej i zabiegu modyfikowania. Ponadto od 2003 roku w Polsce obowiązuje Norma Europejska PN-EN 12513 pt.: „Odlewnictwo - żeliwo odporne na ścieranie obejmująca zagadnienia odlewnicze i obróbki cieplnej, doboru składu chemicznego oraz właściwości żeliwa odpornego na ścieranie. W normie tej wyróżniono trzy rodzaje żeliwa białego odpornego na zużycie ściernie, a mianowicie: Żeliwo niestopowe lub niskostopowe; Żeliwo niklowo-chromowe (martenzytyczne) obejmujące dwa jego typy: żeliwo zawierające 4 % mas. Ni oraz 2 % mas.

Biurowisko
17 02 2020
wpłynęło dnia
nr 15/RD/14/006/2019/20
1P120

Cr oraz żeliwo zawierające 5 % mas. Ni oraz 9 % mas. Cr; Żeliwo wysokochromowe obejmujące cztery zakresy zawartości chromu: 11÷14 % mas., 14÷18 % mas., 18÷23 % mas., 23÷28% mas. Praca dotyczy tego trzeciego rodzaju żeliwa odpornego na zużycie ściernie czyli żeliwa wysokochromowego z dodatkiem chromu w zakresie 18÷23 % mas.

Niewątpliwie podstawową metodą sterowania mikrostrukturą odlewu z żeliwa pozostaje nadal zabieg modyfikowania. W przypadku białego żeliwa niskostopowego stosuje się modyfikatory oparte na bazie FeSi, te które są w powszechnym użyciu także dla żeliwa szarego. Natomiast do modyfikacji żeliwa białego (wysokostopowego) można zastosować modyfikatory w postaci mieszanin rozdrobnionych żelazostopów FeB, FeTi, FeNb, FeV, proszku węgla bora B₄C, metali ziem rzadkich oraz pierwiastków typu Al, Bi w niestopowym żeliwie białym. Modyfikacja żeliwa białego, w odróżnieniu od żeliwa szarego jest mniej poznana, co implikuje brak literatury fachowej dla tego zagadnienia. Należy również przyznać, że efekty modyfikacji w tym wypadku są dużo mniej „spektakularne” niż to ma miejsce w przypadku żeliwa szarego. Jednak również dotyczą zmiany rodzaju krystalizacji austenitu, rozdrobnienia dendrytów i zwiększenia ich liczby oraz z drugiej strony zwiększenia liczby ziaren eutektycznych oraz rozdrobnienia fazy węglkowej w eutektyce. Ponadto wydają się, że istotna w procesach metalurgicznych jest możliwość przewidywania sposobu krystalizacji austenitu przy wykorzystaniu zabiegu modyfikowania szczególnie w odlewach z żeliwa białego, jak również w odlewach z modyfikowanego żeliwa szarego. Istota tego zagadnienia, szczególnie w żeliwie białym, dotyczy związku pomiędzy krystalizacją, a niektórymi jego właściwościami szczególnie tymi związanymi z jego wadami: porowatością, rzadziznami, jamami skurczowymi lub pęknięciami.

Oznacza to, że istnieją przesłanki sterowania mikrostrukturą i tym samym właściwościami żeliwa wysokochromowego podczas zastosowania zabiegu modyfikowania (z ang. inoculation). Dodatkowo można stwierdzić, że podjęta przez mgr inż. Malwinę Dojkę tematyka posiada uzasadnienie również poznawcze (oprócz tego aplikacyjnego wspomnianego wcześniej). Natomiast sama tematyka ma długoletnią tradycję badawczą w Politechnice Śląskiej, a w prezentowanej pracy doktorskiej badania zostały wykonane pod opieką dra hab. inż., prof. PŚ Andrzeja Studnickiego. Zamierzenia poznawcze pracy były ambitne i wymagały przeprowadzenia od strony technologicznej trudnego doświadczenia polegającego na opracowaniu autorskiej technologii otrzymywania modyfikowanego żeliwa wysokochromowego. Otrzymane żeliwo poddano wielokierunkowej analizie metalograficznej, która umożliwiła weryfikację przyjętego założenia rozdrobnienia mikrostruktury i poprawy właściwości trybologicznych w wyniku zastosowania zabiegu modyfikowania.

2. Ocena formalna pracy

Przedłożona do oceny praca doktorska napisana została w języku polskim i obok streszczenia polskiego zawiera również streszczenie w języku angielskim. W streszczeniu doktorantka informuje, że główny nacisk w dysertacji koncentruje na zagadnieniu modyfikacji żeliwa wysokochromowego. Czytelnik jest poinformowany, że w pierwszej kolejności przeprowadzono badania wstępne z dodatkiem wybranych modyfikatorów

powierzchniowo aktywnych i zarodkotwórczych. W następnym etapie na podstawie analizy mikrostruktury i testów zużycia ściernego dobrano modyfikatory badawcze, które zastosowano w badaniach oraz sformułowano tezy pracy. Prace badawcze doprowadziły do wskazania zależności odporności na zużycie ściernie oraz udarność od zmiennych ilości modyfikatora w postaci strontu i tytanu.

Treść przedmiotowej pracy odpowiada tematowi przedstawionemu w tytule. Praca doktorska jest napisana na 127 stronach zawiera 92 rysunki, 9 tabel i powołania na 119 pozycji literaturowych. Dodatkowo doktorantka do pracy dodała załącznik o objętości 31 stron zawierający krzywe ATD oraz charakterystyczne temperatury dla badanego stopu i mikrostruktury badanych próbek (załącznik zawiera 30 rysunków).

Praca posiada układ klasyczny i obejmuje przegląd literatury oraz część badawczą. Część literaturową oceniam pozytywnie bowiem zawiera w sobie zróżnicowane pozycje, te starsze jak również nie brakuje aktualnej literatury z obszaru żeliwa chromowego.

Ogólnie tekst rozprawy posiada charakter techniczny i napisany jest poprawnym językiem polskim. Praca nie posiada braku liter czy znaków przystankowych, sprawia wrażenie zwięzłej i przemysłowej.

3. Ocena merytoryczna pracy

W rozdziale 1 została przeprowadzona krótka charakterystyka białych żeliw odpornych na zużycie ściernie. W pracy to zagadnienie zostało potraktowane zbyt pobieżnie ponieważ brakuje w nim rozwinięcia zasygnalizowanego mechanizmu z którym w badaniach własnych doktorantce przyjdzie się zmierzyć, cyt. *"... wyniki badań potwierdzające, że miękkie i bardziej odporne na obciążenia dynamiczne austenityczne żeliwa węglkowe mogą cechować się podobną, a nawet lepszą odpornością na ścieranie niż twarde martenzyticzne żeliwa z wydzieleniami węglkowymi. Podobnie jak inni badacze zauważa także, że zwiększenie ilości fazy węglkowej w żeliwie sprzyja poprawie odporności na ścieranie, jednakże do pewnej zawartości optymalnej, po której przekroczeniu następuje spadek odporności na zużycie ściernie"*. Czuje się pewien niedosyt, że nie zostało to zagadnienie rozwinięte w części literaturowej.

W rozdziale 2 jest przedstawiona charakterystyka żeliwa chromowego odpornego na zużycie ściernie. Tutaj autorka przedstawia krystalizację żeliwa chromowego, jego mikrostrukturę i wpływ obróbki cieplnej na występowanie poszczególnych faz. Niestety doktorantka nie ustrzegła się błędu, ponieważ zauważa: cyt. *"Istotny jest fakt, że odlewy z żeliwa chromowego w stanie surowym tylko nieznacznie ustępują odpornością na zużycie odlewom obrabianym cieplnie"*. Natomiast w następnym podrozdziale informuje: cyt. *"Podczas obróbki cieplnej, wytrzymywanie żeliwa wysokochromowego w temperaturze powyżej 700°C powoduje wydzielenie się wtórnych węglków chromu, co skutkuje obniżeniem ilości pierwiastków stopowych w roztworze stałym i stabilizacją austenitu. Podczas studzenia, austenit ulega przemianom perlitycznym, a przy szybkim chłodzeniu przemienia się w martenzyt. Odmiany żeliwa w stanie litym nie posiadają struktury czysto martenzytycznej. Może występować mieszanina martenzytu z austenitem..."*. Myślę, że powyższe zagadnienie wymaga precyzyjnego wyjaśnienia oraz zdanie, cyt. *"... Wpływ rozmiarów oraz sposobu*

zorientowania węglików w mikrostrukturze ma szczególne znaczenie w warunkach udarowo – ściernych zużycia, gdzie istotna jest wytrzymałość połączenia węglików z osnową..." w którym zestawiono sposób zorientowania węglików z wytrzymałością połączenia węglików z osnową metalową jest niejasne i wymaga wyjaśnienia.

W rozdziale 3 autorka zapoznała czytelnika z problemem modyfikacji stopów odlewniczych. Po przeczytaniu tego rozdziału ma się wrażenie, że z jednej strony zagadnie to nie wymaga szczegółowej analizy, natomiast pewne informacje już mniej istotne są rozpisane zbyt szczegółowo. W rozdz. 2 na rys. 1 doktorantka w przejrzysty sposób przedstawiła problem pojawienia się eutektyki cementytowej w żeliwie. Z przedstawionych rozważań wynika, że rodzaj eutektyki zależy od energii pędnej krystalizacji czyli w warunkach rejestracji krzywej krystalizacji - wprost od wartości stopnia przechłodzenia ΔT . Szkoda, że rozważania dotyczące efektów modyfikacji nie powiązano z tym parametrem. Niewątpliwie najważniejszym wskaźnikiem oceny procesu modyfikacji stosowanego w technologii wytwarzania odlewów z żeliwa jest zwiększenie liczby ziaren eutektycznych w żeliwie szarym i ziaren austenitu pierwotnego w żeliwie białym, co pośrednio wpływa na zwiększenie wydzielania się ciepła krystalizacji i wtedy to zmniejsza się wartość ΔT i można sądzić, że właśnie takie jest podstawowe działanie pierwiastków zarodkotwórczych, o czym w pracy nie wspomniano. Dalej w pracy opisano działanie pierwiastków powierzchniowo aktywnych (lub wymiennie pojawia się słowo - czynnych) i ten opis został przedstawiony na przykładzie modyfikacji siluminów, gdzie modyfikatory mogą hamować wzrost kryształów, i wtedy należy się spodziewać zwiększenia wartości ΔT , zjawisko to faktycznie występuje podczas modyfikacji siluminów, o czym doktorantka już nie poinformowała. Niemniej jednak wysoko oceniam podsumowanie przeglądu literatury i przedstawione w rozdziale 4 i zaprezentowane schematy oddziaływania pierwiastków zarodkotwórczych, jak i pierwiastków aktywnych powierzchniowo na zarodkowanie i wzrost kryształów. Szczególnie interesujący jest pomysł zastosowania tych ostatnich w sterowaniu krystalizacją żeliwa wysokochromowego. Do tego etapu pracy mam dwie wątpliwości: po pierwsze użycie terminu modyfikatorów ujemnych jest niejasne oraz do występującego w pracy roztrząsania nieistniejącego powszechnie zagadnienia węglików sferoidalnych w żeliwie chromowym, cyt. *"Każdy stop, w zależności od zastosowania i przeznaczenia, powinien posiadać charakterystyczną dla siebie morfologię wydzieleni węglkowych, pozwalającą na jak najdłuższą pracę odlewu w założonych warunkach. Mówi się również o niekorzystnym wpływie nadmiernie rozdrobnionych, kulistych wydzieleni fazy twardej, które podczas ścierania łatwiej wykruszają się z osnowy.."* oraz *"... Można przypuszczać, że podczas wytwarzania odlewów z austenitycznego żeliwa chromowego, nie obrabianych cieplnie, należy skupić się w szczególności na jak największym rozdrobnieniu węglików M_7C_3 , ich właściwym rozmieszczeniu w strukturze stopu, nie usiłując koniecznie otrzymać sferoidalnych wydzieleni"*. Można postawić w tym miejscu pytanie, czy doktorantce są znane prace związane z wywarzaniem żeliwa chromowego ze sferoidalnymi wydzieleniami węgla M_7C_3 ?

Rozdziały: 5 i 6 zawierają opis założonego zakresu badań i przyjętego celu oraz badania wstępne. Tutaj należy podkreślić, że doktorantka po przeprowadzeniu analizy literatury przystąpiła do postawienia sobie celu badań i przeprowadziła doświadczenie w ramach którego dokonała wyboru optymalnych modyfikatorów dla żeliwa chromowego (18%-20% chromu i 2,8% -3,1% węgla). W badaniach tych doktorantka analizowała krzywe krystalizacji

i stygnięcia w ramach wytopu z żeliwa i wybranego modyfikatora. Do modyfikacji stopów zastosowano cztery typy zapraw: dwa modyfikatory zarodkotwórcze – tytan w postaci FeTi70 oraz cer i lantan w postaci miszmetal (67,1% Ce, 32,7% La), dwa modyfikatory powierzchniowo aktywne – stront w tradycyjnej zaprawie stosowanej do stopów aluminium AlSr10 oraz wapń w postaci granulatu Ca30Si. Dodatkowo analizowana była mikrostruktura oraz odporność na zużycie ściernie przedmiotowego już modyfikowanego żeliwa chromowego.

W tej części badań może niepokoić wprowadzanie na dno kadzi 0,1%Al jako odtleniacza. Ponieważ z literatury można się dowiedzieć, że dla zapewnienia odpowiednio dobrych właściwości mechanicznych mikrostruktura odlewu z żeliwa białego powinna charakteryzować się wydzieleniami ziaren równoosiowych, co jest wynikiem krystalizacji endogenicznej odlewu. Okazuje się, że zwiększenie zawartości węgla oraz podwyższenie temperatury zalewania ciekłego metalu i równoczesne przegrzanie metalu ponad temperaturę likwidus prowadzi do krystalizacji endogenicznej odlewu z żeliwa. Podobna sytuacja może wystąpić podczas zabiegu modyfikowania żeliwa białego za pomocą B, Al lub Bi i równoczesnego skrócenia czasu wytrzymywania ciekłego metalu w piecu przed zalaniem formy. Pierwiastki takie jak: V, Mo, B i Ce sprzyjają rozgałęzieniu dendrytów austenitu pierwotnego i zmniejszają przestrzenie pomiędzy ramionami. Natomiast pierwiastki Ti, Cu, Al, Cr, Bi powodują równomierny rozkład dendrytów austenitu w przekroju odlewu. Z kolei nikiel sprawia, że odległości pomiędzy ramionami dendrytów ulegają zwiększeniu, a oś główna dendrytu podlega zmniejszeniu. W tym miejscu należy zadać pytanie: czy podczas badań zastanawiano się nad modyfikującym działaniem zastosowanego odtleniacza typu Al ?

Dalej w wyniku: analizy metalograficznej i badań zużycia ściernego zmodyfikowaną metodą pin-on-disc z zastosowaniem urządzenia Tribotester 3-POD oraz symulacji metodą Thermo-Calc powstawania faz w przedmiotowym żeliwie, wybrano do dalszych badań optymalne modyfikatory. Ponadto w tej części badań doktorantka udowodniła, że kształtowanie węgla TiC występuje przed tworzeniem się faz mikrostruktury żeliwa chromowego, zatem tytan można traktować jako modyfikator zarodkotwórczy, co niewątpliwie należy do osiągnięcia badawczego. Chociaż w pracy występują pewne niejasności: np. doktorantka pisze cyt. *”Zarówno podwyższenie zawartości tytanu jak i miszmetal wplynęło na zagęszczenie kolonii eutektycznych węglików M_7C_3 w badanych stopach, co jak można domniemać, ma swoje korzenie w podkładkotwórczym działaniu wybranych dodatków”*. Natomiast na rys. 22 na którym porównano odpowiednie mikrostruktury versus powyższy cytat - to w tym miejscu już nie ma się pewności czy tak jest rzeczywiście.

Innym interesującym wnioskiem z tej części badań jest to, że związki stosowanych metali ziem rzadkich mogą stanowić podkładkę krystalizacji nie tylko dla węglików eutektycznych, ale również dla węglików tytanu oraz to, że optymalnym z zastosowanych modyfikatorów powierzchniowo aktywnych jest stront w postaci metalicznej. Jego dodatek nie wpływa w dużym stopniu na obniżenie ilości fazy węglkowej, a węgliki są znacznie rozdrobione, co przekłada się na poprawę odporności na ścieranie żeliwa. I dopiero w tym miejscu pracy na stronie 53 w formie rozdziału siódmego doktorantka formułuje tezy pracy i przedstawia plan badań zasadniczych. Zostały przedstawione dwie tezy rozprawy doktorskiej, a mianowicie:

1. Modyfikacja żeliwa wysokochromowego strontem może zmieniać sposób krystalizacji stopu poprzez adsorpcję strontu na granicach kryształów i hamowanie wzrostu węglików chromu, co skutkuje tworzeniem się jednorodnej rozdrobnionej eutektyki węglikowej i poprawą udarności oraz odporności na zużycie ściernie odlewów.
2. Synergiczne działanie strontu i tytanu na krystalizację żeliwa wysokochromowego umożliwia uzyskanie drobnych węglików M_7C_3 w eutektyce stopu poprzez jednoczesne tworzenie podkładek krystalizacji i hamowanie wzrostu wydzieleni węglikowych, co pozwala na poprawę odporności na zużycie i udarności odlewów, a tworzenie się dodatkowych faz w żelwie chromowym w postaci twardych węglików TiC zwiększa twardość i odporność na zużycie ściernie tego stopu.

Należy przyznać, że dwie przedstawione tezy pracy uważam za w pełni uzasadnione i bardzo ambitne ze strony poznawczej jak i doświadczalnej. Natomiast dalszą część pracy stanowi etap doświadczalny dotyczący 16 wytopów żeliwa wysokochromowego o zawartości 20% Cr i zmiennej ilości modyfikatora w postaci strontu metalicznego i żelazotytanu z rejestracją zmian temperatury w czasie krystalizacji. W dalszych rozdziałach swojej dysertacji doktorantka przedstawia analizę krystalizacji metodą ATD (próbki bez izolacji oraz izolowane), badania mikrostruktury, testy zużycia ściernego w ruchu posuwisto-zwrotnym i metodą pin-on-disc, badania mikro- i makrotwardości oraz udarności. Przeprowadzone badania i ich analiza pozwolą na ocenę skuteczności zastosowanych modyfikatorów oraz ich wpływu na mikrostrukturę odlewów i właściwości mechaniczne. Ponadto w pracy oceniono zjawisko związane z efektywnością modyfikacji tytanem wynikające z dodawania zbyt dużych jego ilości jako modyfikatora.

Należy zwrócić uwagę, że podczas wyznaczania krzywych ATD doktorantka zamieszcza za każdym pomiarem wartości charakterystycznych punktów temperaturowych tj.: temperaturę zalewania, likwidus stabilnej krystalizacji dendrytów γ dla stopów podeutektycznych, pierwotnych węglików M_7C_3 dla stopów nadeutektycznych, dla stopów podeutektycznych maksymalny efekt cieplny krystalizacji dendrytów γ , dla stopów nadeutektycznych maksymalny efekt cieplny krystalizacji pierwotnych węglików M_7C_3 , temperaturę likwidus metastabilnej krystalizacji dendrytów γ dla stopów podeutektycznych, pierwotnych węglików M_7C_3 dla stopów nadeutektycznych, maksymalną intensywność chłodzenia po efekcie cieplnym krystalizacji fazy pierwotnej, temperaturę solidus metastabilnej krystalizacji eutektyki, maksymalny efekt cieplny krystalizacji eutektyki, maksymalną intensywność nagrzewania, temperatura solidus stabilnej krystalizacji eutektyki, koniec krystalizacji, charakterystyczną temperaturę w stanie stałym.

Wyniki analizy ATD są konfrontowane z symulacjami w programie Thermo-Calc. I tak, na 61 stronie dysertacji doktorskiej niejako pojawia się potwierdzenie moich obaw, co do zastosowania odtleniacza w postaci Al podczas przeprowadzania wytopów cyt. *„Według symulacji dla warunków równowagowych, wykonanej w programie Thermo-Calc w tym miejscu może się już zaczynać niestabilna krystalizacja austenitu powiązana z pojawieniem się w cieczy związków aluminium oraz tytanu. Temperatura topnienia węgla tytanu wynosi około 3067 – 3140 °C, zaś tlenków, czy też azotków aluminium 2040 °C, 2200°C, zatem część związków może powstawać jeszcze przed zalaniem form odlewniczych. Na nich we wczesnej fazie krystalizacji mogą się już pojawiać zarodki austenitu”*. Ponadto z tego zdania wynika,

że nie tylko rozdrabniano wydzielania węglkowe eutektyczne, ale również austenit pierwotny. Szkoda, że doktorantka w dalszej części badań nie podążyła w kierunku analizy ziaren pierwotnych.

Podczas czytania pracy może się podobać przytoczenie trójstopniowego modelu zarodkowania grafitu płatkowego (rys. 55) i na jego przykładzie zbudowanie tezy wzrostu węgliku tytanu na podkładkach z azotków, tlenu i glinu. W dalszej części pracy doktorantka przedstawiła model powstawania aglomeratów związków tytanu, co może być po części prawdą. Jednak zdjęcie mikrostruktury przedstawionej na rys. 59 (str 83) może świadczyć, że w tym konkretnym przypadku mamy do czynienia z nierozpuszczonym żelazo tytanem. Ponadto aglomeraty TiC pokazane na zdjęciu SEM (rys. 78) świadczą o oddziaływaniu modyfikującym na austenit, chociaż w pracy pokazano dobrej jakości zdjęcia SEM z wydzieleniami TiC w eutektycznych węglkach chromu (rys.79).

Podjęte badania właściwości wytrzymałościowych są przeprowadzone poprawnie i ich analiza w postaci wykresów stanowi silną stronę pracy. Jednak należy przyznać, że brakuje w pracy oceny skłonności do pęknięć na gorąco, co byłoby niejako uwieńczeniem (taką wisienką na torcie) dużego wkładu pracy doktorantki w realizację i analizę swoich badań.

Za szczególne osiągnięcie w pracy doktorskiej mgr inż. Malwiny Dojki uważam wykazanie w niej:

- kształtowania węgliku TiC przed wzrostem faz mikrostruktury żeliwa chromowego,
- wpływu metali ziem rzadkich na strukturę żeliwa chromowego, które mogą stanowić podkładki krystalizacji nie tylko dla węglków eutektycznych ale również dla TiC,
- wpływu związków azotu oraz tlenków glinu, które mogą stanowić podkładki krystalizacji dla węglków tytanu,
- zmniejszenia efektywności modyfikującego działania Ti przy zawartości powyżej 0,5 %,
- hamującego wpływu strontu na wzrost węglków chromu,
- optymalnej zawartości modyfikatora w postaci strontu do 0,1%.

Przystępując do oceny końcowej dysertacji doktorskiej mgr inż. Malwiny Dojki zaznaczam, że moje uwagi krytyczne bądź dyskusyjne zawarłem w tekście recenzji i proszę doktorantkę o odniesienie się do nich. Natomiast te dotyczące nieprecyzyjnych sformułowań i ewentualnych błędów przekazałem podczas naszego spotkania i przeprowadzonej dyskusji.

Dodatkowo proszę doktorantkę o odpowiedź na następujące pytania, a mianowicie:

1. Czy z uzyskanych badań można oznaczyć stopień przechłodzenia ΔT dla krystalizacji austenitu pierwotnego i eutektyki dla żeliwa modyfikowanego tytanem, strontem oraz tytanem i strontem ?
2. Który z analizowanych wariantów opracowanego zabiegu modyfikowania żeliwa wysokochromowego należy uznać za najbardziej korzystny pod względem ekonomicznym ?

4. Wniosek końcowy

Stwierdzam że recenzowana rozprawa doktorska pani mgr inż. Malwiny Dojki należy do dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych i mieści się w zakresie dyscypliny naukowej: inżynieria materiałowa. Praca dotyczy ważnego zagadnienia, którym jest opracowanie optymalnej modyfikacji (z ang. inoculation) żeliwa białego, w tym przypadku żeliwa wysokochromowego w celu poprawienia właściwości użytkowych odlewów wykonanych z tego tworzywa. Biorąc pod uwagę aktualność tematyki, oryginalność oraz logiczne przedstawianie wyników badań, objętość zaprezentowanej literatury oraz wyników własnych prac doświadczalnych i staranność edycji wysoko oceniam rozprawę doktorską pani mgr inż. Malwiny Dojki. Doktorantka na podstawie przeprowadzonych badań własnych niewątpliwie udowodniła postawione tezy, które wskazywały na możliwość modyfikacji żeliwa wysokochromowego tytanem i strontem. Jej praca nad tym zagadnieniem w renomowanym zespole pracowników Politechniki Śląskiej w Gliwicach zaowocowała współautorstwem 18 publikacji naukowych. **Wnioskuje zatem do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej w Politechnice Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Dariusz Kypciński", is written across the lower right portion of the page.