

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

Pana mgra inż. Piotra Garbienia

pt.

**„Wysokowytrzymałe staliwa do odlewania cienkościennych wyrobów
o dużej dokładności powierzchni.
Modelowanie, wytwarzanie, mikrostruktura i właściwości”**

wykonanej pod opieką promotora Pana dra hab. inż. Wojciecha Maziarza, prof. PAN
oraz promotora pomocniczego Pana dra inż. Adama Kokoszy, AGH

opracowana na zlecenie

*Pani Dyrektor
Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego
Polskiej Akademii Nauk w Krakowie
dr hab. Joanny Wojewoda-Budka, prof. Instytutu*

1. Ocena ważności i celowości podjętej tematyki badawczej

Nieustanny rozwój techniki wymaga od twórców szerokiej gamy maszyn i urządzeń dostosowania projektowanych przez nich rozwiązań konstrukcyjnych do coraz większych wymogów eksploatacyjnych takich jak wysokie i długotrwałe obciążenia mechaniczne, termiczne, chemiczne itp., a także do uwarunkowań ekonomicznych w szeroko rozumianym rachunku ciągnionym tak kosztów wytwarzania, jak i użytkowania. Ten problem staje się coraz bardziej istotny w warunkach światowej gospodarki konkurencyjnej, tak na poziomie krajowym, jak i poszczególnych wytwórców i użytkowników. W związku z tym konstruktorzy innowacyjnych rozwiązań oczekują od badaczy obszaru inżynierii materiałowej projektowania nowych, trwalszych i ekonomicznie opłacalnych tworzyw oraz metod ich wytwarzania. Praca pana mgra inż. Piotra Garbienia w pełni wychodzi naprzeciw wspomnianym oczekiwaniom.

Do materiałów mogących pracować w ekstremalnie trudnych warunkach zużycia tribologicznego należą niewątpliwie stopy żelaza, w tym stopy odlewnicze będące przedmiotem zainteresowania Doktoranta. Stopy te zawierają często znaczną ilość drogich i deficytowych dodatków stopowych takich jak chrom, nikiel, molibden, wolfram, wanad i innych. Poprawę wymaganych konstrukcyjnie właściwości uzyskuje się przez zastosowanie odpowiednio dobranych wieloetapowych zabiegów cieplnych.

W ramach realizowanego doktoratu wdrożeniowego Pan mgr inż. Piotr Garbień biorąc pod uwagę rosnące zapotrzebowanie rynku na wyroby ze staliwa o podwyższonych właściwościach mechanicznych, jak również wyniki przeprowadzonej analizy ekonomiki przedsiębiorstwa P.I.O. Specodlew opracował eksperymentalny, odlewniczy stop żelaza o składzie chemicznym zawierającym stosunkowo niewielką zawartość dodatków stopowych oraz zaprojektował proces jego obróbki cieplnej dobierając odpowiednie parametry temperaturowo-czasowe poszczególnych zabiegów. Równolegle prowadził badania w kierunku wdrożenia opracowywanego staliwa na odlewy, które pracują w trudnych warunkach eksploatacyjnych, a ich wymiana jest kosztowna.

Wdrożenie opracowanej przez Doktoranta technologii pozwoli firmie P.I.O. Specodlew produkować odlewy tańsze i bardziej wytrzymałe na zużycia ściernie, niż obecnie stosowane stopy żelaza z dużą ilością drogich dodatków stopowych.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uważam, że podjęty przez Doktoranta temat jest niezmiernie ciekawy zarówno z naukowego jak i utylitarnego punktu widzenia. Realizacja pracy wniosła nową wiedzę i stworzyła podstawy do wdrożenia w zakładzie Doktoranta technologii wytwarzania wysokowytrzymałego, niskostopowego staliwa przeznaczonego na cienkościennie odlewy o dużej dokładności powierzchni, przeznaczone do eksploatacji w warunkach zużycia ściernego.

Opiniowana praca była realizowana w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”.

2. Układ pracy i dobór źródeł literaturowych

Praca rozpoczyna się od krótkiego *Streszczenia*, które przedstawia tematykę rozprawy. Autor nakreśla w nim zasadność podjęcia tematu, zakres realizowanych badań i prac wdrożeniowych oraz sygnalizuje uzyskane efekty.

Zasadnicza część pracy składa się z 4 głównych rozdziałów.

W rozdziale 1 Autor opisuje motywację podjętych badań, a następnie omawia proces wdrożenia uzyskanych wyników.

Rozdział 2 obejmuje krótki wstęp teoretyczny oraz stan wiedzy na podstawie dostępnej Autorowi literatury związanej tematycznie z zakresem realizowanej pracy.

W rozdziale 3 Doktorant omawia przeprowadzone badania własne i przeprowadza ich dyskusję. W tej części Autor omawia tezę i cel pracy (Rozdział 3.1), wybrany materiał do badań (Rozdział 3.2), metodologię prowadzonych badań (Rozdział 3.3) oraz uzyskane wyniki i ich dyskusję (Rozdział 3.4).

Rozdział 4 zawiera podsumowanie uzyskanych wyników i wyciągnięte wnioski.

Przegląd literatury zajmuje 36 stron i napisany jest ciekawie i syntetycznie. Doktorant zawarł w nim najważniejsze dla zrozumienia części badawczej zagadnienia związane z procesami przemian fazowych stopów żelaza w stanie stałym ze szczególnym uwzględnieniem przemiany bainitycznej. W tym zakresie koncentruje się na morfologii i właściwościach bainitu oraz zabiegach cieplnych z przemianą izotermiczną umożliwiającą uzyskanie struktury bainitycznej i nanobainitycznej w stali i w odlewach staliwnych.

Lektura przeglądu stanu wiedzy dobrze wprowadza czytelnika do dalszej, badawczej części rozprawy. Pozwala także właściwie zrozumieć podejście do niej Autora poprzez sformułowaną dalej tezę i cele pracy.

Doktorant wykorzystał 126 pozycji literaturowych, co w przypadku pracy doktorskiej jest liczbą wystarczającą, choć oczywiście ocenie powinna zawsze podlegać jakość, a nie liczba cytowanych źródeł. Analizując ich wiek stwierdzam, że w pracy wykorzystano zarówno pozycje podstawowe, co nie znaczy gorsze, z lat dość odległych, jak i szereg, tj. 17 pozycji z ostatnich 5 lat, to znaczy z okresu 2019-2023. Nie brałem tutaj pod uwagę dat dostępu do źródeł internetowych, których Autor nie podaje.

Poruszana przez Doktoranta tematyka cytowanych opracowań związana jest z nowością zagadnień nanostruktur stopów żelaza, w tym przypadku struktury nanobainitycznej. Stwierdzam tym samym, że Autor zapoznał się z aktualnym stanem wiedzy bardzo starannie. Mocną stroną doboru źródeł jest ich różnorodność, ponieważ autor cytuje zarówno książki jak i artykuły naukowe, ale też referaty konferencyjne i inne materiały branżowe. Spis literatury i jej przytaczanie wykonane są starannie i jedynie w kilku pozycjach zauważyłem drobne błędy edytorskie.

Podsumowując ten aspekt oceny pracy stwierdzam, że dobór źródeł literaturowych oraz ich wykorzystanie dla opracowania przeglądu literatury stoją na bardzo dobrym poziomie zwłaszcza biorąc pod uwagę wdrożeniowy charakter doktoratu. Podkreślić należy, że Doktorant nie poprzestał na studiowaniu literatury w okresie przygotowywania się do podjęcia swoich badań, ale śledził na bieżąco ukazujące się publikacje aż do złożenia pracy tj. do 2023 r.

3. Tezy i cele pracy

Tezę i cel pracy Doktorant prezentuje w wyodrębnionym rozdziale 3.1 na stronie 54. Nie mam większych zastrzeżeń odnośnie do postawionej tezy, która wynika wprost z analizy stanu wiedzy z zakresu tematu rozprawy, a także z doświadczeń Doktoranta nabytych między innymi w trakcie uczestnictwa w realizacji wysokonakładowych projektów badawczych i prac usługowych. Można uznać, że postawiona teza jest bardziej użyteczna i praktyczna niż naukowa, a praca ma bardziej wdrożeniowy niż naukowy charakter, co jak wcześniej podkreśliłem wynika wprost z charakteru doktoratu wdrożeniowego. Zaznaczam jednak, że „naukowość” całej pracy jest, co najmniej wystarczająca dla tego typu rozpraw doktorskich. Autor dla udowodnienia swojej tezy wykorzystał wystarczający wachlarz metod badawczych oraz przeprowadził poprawną i ciekawą dyskusję otrzymanych wyników pod kątem ich praktycznego wykorzystania w warunkach przemysłowych.

Doktorant przedstawił zakres prowadzonych badań, których celem było udowodnienie postawionej tezy. Wyodrębnił też cel aplikacyjny, czyli opracowanie technologii wykonywania **staliwnych odlewów cienkościennych** o strukturze zbliżonej do nanonobainitycznej umożliwiającej uzyskanie zadowalających właściwości mechanicznych i tribologicznych. Biorąc pod uwagę, że opiniowany doktorat ma wdrożeniowy charakter opracowanie takiej technologii znakomicie domyka całą pracę. Uważam jednak, że w podsumowaniu doktoratu tego typu powinny znaleźć się wyraźniej podkreślone informacje o postępach wdrażania jego osiągnięć lub plany takiego wdrożenia, którego zwieńczeniem byłaby sporządzona instrukcja technologiczna procesu wytwórczego. O ten aspekt pracy zapytam Autora podczas publicznej obrony.

Podsumowując stwierdzam, że mimo drobnych niedociągnięć, zarówno teza jak i cel pracy sformułowane są właściwie, a lektura części badawczej pracy pozwala stwierdzić, że jej zaplanowany zakres został wykonany. Cel aplikacyjny został także osiągnięty, a teza wiarygodnie udowodniona.

4. Ocena zastosowanej metodologii prowadzonych prób, opisu badań własnych, dyskusji uzyskanych wyników oraz ważniejsze uwagi do dyskusji o charakterze merytorycznym

Opis przeprowadzonych badań oraz zebranie, przedstawienie i analiza uzyskanych wyników są jasne, czytelne i zrozumiałe. Uwzględniając dostępność i możliwości finansowe Doktoranta, dobór zastosowanych technik badawczych oceniam, jako adekwatne do postawionego celu pracy. Każde przeprowadzone badanie po sformułowaniu przemyślanych wniosków posłużyło do udowodnienia postawionej tezy i dostarczyło wyniki, które stanowią

wartość dodaną całej pracy. Szczególną moją uwagę zwrócił tutaj opracowany przez Doktoranta rzeczywisty układ równowagi fazowej Fe-Fe₃C dla staliwa będącego przedmiotem badań, na którym Autor naniósł temperatury szeregu hartowniczego wykonanego w celu weryfikacji obliczonego układu i doboru docelowej temperatury austenitizacji.

Sformułowane wnioski końcowe w swej istocie dobrze podsumowują osiągnięcia pracy Doktoranta.

W zakresie merytorycznym rozprawę oceniam dobrze i stwierdzam, że Doktorant wykazał się dobrym warsztatem badawczym oraz adekwatną do jego zastosowania wiedzą, co pozwoliło Mu uzyskać szereg wartościowych i unikalnych wyników.

Autor, co jest nieuniknione, nie ustrzegł się drobnych błędów, skrótów myślowych i niedociągnięć, które jednak w żaden sposób nie obniżają jednoznacznie pozytywnej oceny rozprawy. Poczynione przeze mnie uwagi tego typu naniósłem na wersji papierowej otrzymanej rozprawy i przekazałem Doktorantowi. Niektóre z nich dotyczące zarówno części teoretycznej jak i badawczej przytaczam poniżej. Podzieliłem je na dwie grupy tj. uwagi natury ogólnej oraz uwagi szczegółowe. Do uwag podkreślonych poproszę Doktoranta o ustosunkowanie się pisemne lub podczas publicznej obrony.

Uwagi ogólne:

1. Temat pracy traktuje o odlewach cienkościennych, a teza tego uwarunkowania nie uwzględnia. Moim zdaniem jest tu pewne niedoprecyzowanie.
2. Autor posługuje się terminologią „*metoda topionego wosku*”. Powinno być raczej „*metoda wytapianych modeli woskowych*”.
3. Kto i w ramach jakich działań zaprojektował stop będący przedmiotem rozprawy i czy Doktorant uczestniczył w tych pracach, które z natury rzeczy są pracami zespołowymi?
4. Stosowane pojęcie „*praca w warunkach produkcyjnych*” może być niejednoznaczne. Czy chodzi Autorowi o produkcję odlewów, czy ich eksploatację. Dla jasności należy raczej stosować zwrot „*praca w warunkach eksploatacyjnych*”.
5. W przypadku takich rzeczowników jak *żeliwo* i *staliwo* w ich deklinacji nie występuje liczba mnoga. Mówimy o gatunkach *żeliwa* i *staliwa*, a nie o *żeliwach* czy *staliwach*.
6. Przy opisie niektórych rysunków Autor nie podaje cytowanego źródła. Przy rysunkach autorstwa Doktoranta należy zaznaczyć [badania własne].
7. Doktorant w wielu miejscach pracy operuje specjalistycznymi skrótami takimi jak np. *TWIP*, *TRIP*, *HREM*, *FFT*, *IFFT*, *SAED* nie opisując wcześniej ich znaczenia, a jedynie niekiedy rozwija angielskie skróty tych oznaczeń znane tylko wąskiej grupie specjalistów danej dziedziny.

Uwagi szczegółowe:

1. Rys. 1.
Ponieważ przedmiotem badań są odlewy cienkościenne wskazane byłoby podanie masy i charakterystycznej grubości ścianki odlewów wytypowanych do prób.
2. Str. 19.
Z czego wynika podana w definicji stali wartość 2,14% masy węgla.
3. Rys. 6.
Z czego wynikają różnice pomiędzy liniami ciągłymi i przerywanymi układu równowagi fazowej.

4. Rys. 9.

Na rysunku symbol „ Θ ” oznacza cementyt, „ α ” – ferryt, a co oznacza „C”?

5. Str. 46.

Jeżeli chcemy uzyskać bainit to przystanek izotermiczny powinien być nieznacznie poniżej czy powyżej temperatury M_s .

6. Str. 50.

Doktorant przytaczając bardzo interesujące wyniki badań polskich naukowców dotyczące otrzymywania struktur nanobainitycznych nie powołuje się na żadną publikację. Jeżeli były to informacje niepublikowane to trzeba to zaznaczyć.

7. Str. 54.

Co Autor rozumie pod pojęciem *dokładność powierzchni*?

8. Str. 55.

1. Jaki rodzaj wymurówki tygla stosowano w procesie topienia?
2. Czy do wytopu stosowano technicznie czyste pierwiastki, jako dodatki stopowe?
3. Jakie zastosowano materiały do budowy form ceramicznych i na pokrycia?

9. Rys. 32.

Brak jest etapu objęcia skorupy ceramicznej.

10. Str. 64.

Czy i w jakich warunkach procesy obróbki cieplnej, w tym proces nanobainityzacji wpływają na chropowatość powierzchni odlewów?

11. Str. 73.

1. Czy czas 30 min wygrzewania próbek przy austenitizacji był wystarczający?
2. Czy rzeczywiście charakter „szeregu hartowniczego” przedstawiony na rysunku 44 jest liniowy? Autor sam zwraca uwagę na zmienność kąta nachylenia krzywej dopasowanej do punktów pomiarowych (nie prostej wyznaczonej regresji liniowej) w zależności od przedziału zawartości węgla.

12. Str. 86.

Czy do przeprowadzenia analizy numerycznej procesu zalewania form odlewniczych staliwem eksperymentalnym jego niezbędne parametry termofizyczne określono prowadząc badania własne czy korzystano z dostępnych odpłatnie baz danych?

13. Str. 88.

Skoro temperaturę M_s określono na około 50°C, a najlepsze właściwości staliwa bainitycznego uzyskuje się prowadząc tę przemianę w temperaturze tylko niewiele wyższej to, dlaczego prowadzono ją w temperaturze aż 200°C, a nie np. w 100°C.

14. Str. 97.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych Doktorant wytypował do dalszych prób dwa warianty obróbki cieplnej staliwa eksperymentalnego różniące się zabiegami poprzedzającymi proces austenitizacji. Dla lepszego zobrazowania można byłoby przedstawić je graficznie na wykresach zmian temperatury w czasie prowadzonego procesu. Takie wykresy zawarte w podsumowaniu stanowiłyby istotny element instrukcji technologicznej planowanego wdrożenia opracowanej technologii.

15. Str. 98.

Czy określenie *mikrostruktury optycznej* jest poprawne?

16. Str. 112.

Jak przebiegała kontrola zużycia eksploatacyjnego badanych odlewów? Co decydowało o konieczności wymiany łopatek? Czy wymieniano całe komplety? Czy w jednym cyklu montowano łopatki z tego samego tworzywa?

17. Rys. 77.

Z opracowanych tabelarycznie i graficznie wyników zużycia testowanych łopatek mieszarko-nasypywarki OMEGA wynika, że średni ubytek masy łopatek z badanych stopów w trakcie przeprowadzania poszczególnych cykli eksploatacyjnych był w zasadzie porównywalny. Zdecydowane różnice wystąpiły natomiast w czasie trwania tych cykli, co Doktorant przedstawił liczbowo w zamieszczonych tabelach i wykresach. Większą trwałość eksploatacyjną opracowanego przez Autora stopu eksperymentalnego niż stosowanych dotychczas materiałów lepiej zobrazowałby wykres ukazujący dzienny ubytek masy badanych łopatek. Taki wykres szybkości zużywania wykazałby wyraźniej znaczące efekty pracy Doktoranta, gdzie opracowany stop wykazał około 4 krotnie większą odporność na ścieranie w stosunku do powszechnie stosowanego żeliwa chromowego i aż prawie 7 krotnie większą niż żeliwo ADI. Takie ujęcie umożliwiłoby oszacowanie rocznego kosztu ich zapotrzebowania w warunkach produkcyjnych P.I.O. Specodlew przy uwzględnieniu średniorocznego czasu ich pracy i ilość zużywanych odlewów w tym czasie wykonanych z poszczególnych testowanych stopów w takim okresie. Tego rodzaju wyliczenia z ich graficznym przedstawieniem znakomicie podkreślałyby efekty wdrożeniowe wyników pracy uzyskane przez Doktoranta. Czy Doktorant rozważał takie podejście przy analizie uzyskanych rezultatów swoich badań?

Powyższa sugestia dotyczy także rysunków 78 i 79.

18. Str. 119.

Należy podkreślić, że prowadzone przez Doktoranta próby eksploatacyjne były bardzo czasochłonne, niektóre trwały ponad 6 miesięcy. Dlatego całkiem zrozumiałe było ich ograniczenie do wystarczającego minimum, co miało miejsce w przypadku badań zużycia tulei i łopatek stosowanych w oczyszczarce TECHNICAL. Osobiście jednak wybrałbym do prowadzonych testów wariant 1 obróbki cieplnej staliwa eksperymentalnego, jako pozwalający uzyskać porównywalne właściwości mechaniczne, co wariant 2, lecz nieco trwalszy materiał jak wynika z badań eksploatacyjnych łopatek mieszarko-nasypywarki i bardziej ekonomiczny (niższa temperatura i krótszy czas zabiegów cieplnych)? Czy Doktorant kierował się przy wyborze wariantu 2 jakimiś przesłankami np. reżimem produkcyjnym firmy P.I.O. Specodlew?

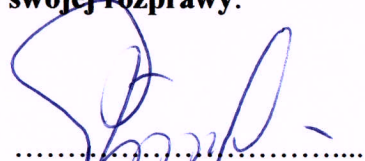
5. Strona edycyjna pracy oraz językowa i stylistyczna

Strona edycyjna i poprawność językowa pracy stoją na dobrym poziomie. Tekst rozprawy stanowi spójną całość i dobrze czyta się go ze zrozumieniem myśli przekazywanej przez Autora. Tym niemniej pojawiają się błędy stylistyczne i gramatyczne, a także edytorskie i tzw. literówki. Spostrzeżone tego rodzaju błędy przekazałem Doktorantowi w egzemplarzu recenzenckim w celu przeanalizowania i ewentualnego uwzględnienia w dalszych pracach, nie wykazując ich w przedkładanej opinii. Grafika zamieszczonych rysunków stoi na ogół na dobrym poziomie, a pewne uwagi w tym zakresie dotyczą czytelności niektórych wykresów i fotografii zwłaszcza opracowywanych przez specjalistyczne programy komputerowe, na co Doktorant ma niewielki wpływ.

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Praca napisana jest na dobrym poziomie w każdym ocenianym jej aspekcie. Doktorant wykazał się umiejętnością krytycznego opracowania przeglądu literatury i na tej podstawie, biorąc pod uwagę wdrożeniowy charakter doktoratu, prawidłowo sformułował cel i tezę, którą udowodnił w zaplanowanym i zrealizowanym planie badawczym. Wykazał się znajomością i umiejętnością wykorzystania różnych technik badawczych oraz umiejętnością opracowania i analizowania uzyskiwanych wyników, a także formułowania wniosków.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. Piotra Garbienia pt. „*Wysokowytrzymałe staliwa do odlewania cienkościennych wyrobów o dużej dokładności powierzchni. Modelowanie, wytwarzanie, mikrostruktura i właściwości*” spełnia wymagania stawiane przez Rozporządzenie Ministra z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z dnia 30 stycznia 2018 r. poz. 261) Ustawę z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw. **W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie o dopuszczenie Pana mgra inż. Piotra Garbienia do publicznej obrony swojej rozprawy.**



.....
dr hab. inż. Zenon Pirowski