



Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska

Warszawa, 4 listopada 2024 r.

Prof. dr hab. inż. Dariusz Oleszak
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. **Piotra SALWY**
pt. „**Hybrydowy kompozyt $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ wykazujący właściwości pamięci kształtu**”

Recenzję wykonano na podstawie pisma przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach dr hab. Grzegorza Dercza i Uchwały nr RN_IIM/36/2024 tejże Rady Naukowej z dnia 29 października 2024 r.

Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska Pana mgr. inż. Piotra Salwy, napisana pod opieką dr hab. Tomasza Goryczki, prof. UŚ, oraz promotora pomocniczego dr Macieja Zubko, prof. UŚ, dotyczy wytwarzania metodą mechanicznej syntezy i spiekania proszków hybrydowego kompozytu $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$, wykazującego efekt pamięci kształtu oraz badania mikrostruktury i charakterystyki odwracalnej przemiany martenzytycznej.

Rozprawę otwiera przegląd literatury, obejmujący na początku opis i charakterystykę zjawiska pamięci kształtu w dwuskładnikowych stopach TiNi oraz wpływ trzeciego pierwiastka na zmiany temperatur charakterystycznych i szerokości

pętli temperaturowej histerezy przemiany w stopach trójskładnikowych. Następnie Doktorant opisuje metody wytwarzania stopów TiNi oraz kompozytów z ich udziałem w połączeniu z polimerami, ceramiką czy innymi metalami. W ten sposób Autor dochodzi do definicji kompozytów hybrydowych, co pozwala mu sformułować tezę oraz cele i zakres pracy. Kolejny rozdział rozprawy poświęcony jest opisowi wytwarzania materiału i metodyce badań.

Rozdział zatytułowany „Wyniki badań” jest zasadniczym rozdziałem pracy, w którym Autor analizuje i dyskutuje w uporządkowany sposób wyniki uzyskane dla poszczególnych grup badanych materiałów (stop dwuskładnikowy TiNi, stop trójskładnikowy TiNiCu oraz kompozyt hybrydowy TiNi/TiNiCu). Wyniki te przedstawione są wg określonego schematu, obejmującego: (a) wpływ czasu mielenia na morfologię cząstek proszku, (b) wpływ czasu mielenia na stopień homogenizacji składu chemicznego stopu i jego skład fazowy, (c) przebieg procesu krystalizacji stopu, (d) wpływ parametrów spiekania na przebieg przemiany martenzytycznej. Część merytoryczną rozprawy kończy dyskusja wyników i wnioski, po których zamieszczono bibliografię, spis rysunków i spis tabel.

Autor odnosi się do 136 pozycji literaturowych. Odwołania obejmują głównie najnowsze czasopisma naukowe. Spis cytowanej literatury jest sporządzony niezwykle starannie. Przegląd literatury świadczy o bardzo dobrej orientacji Doktoranta w tematyce badań.

Ocena doboru tematyki, celu i zakresu rozprawy

Przedmiotem pracy są stopy typu TiNi, należące do grupy klasycznych stopów wykazujących efekt pamięci kształtu, o których wiedza jest najbardziej rozbudowana. W konsekwencji są to najczęściej używane stopy w praktycznych zastosowaniach technicznych oraz medycznych. Wiadomo także, iż przebieg występującej w tej grupie stopów odwracalnej przemiany martenzytycznej może być modyfikowany za pomocą zmiany składu chemicznego i/lub struktury. Ponadto stopy te mogą być wytwarzane z wykorzystaniem różnych technik. Wysiłki badawcze skierowane są w wielu laboratoriach naukowych na te właśnie aspekty. Doktorant wykorzystał w swojej pracy metodę mechanicznej syntezy do wytworzenia proszków stopowych $Ti_{50}Ni_{50}$ oraz $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$, które stały się składnikami kompozytu hybrydowego, finalnie uzyskanego w procesie spiekania proszków. Jest to nowe podejście do

zagadnienia, zatem wybór tematyki rozprawy uznać należy za niezwykle trafny, a także istotny z aplikacyjnego punktu widzenia.

Cel i zakres rozprawy zdeterminowane zostały na podstawie starannej analizy literaturowej. Doktorant w swoich rozważaniach wykorzystał możliwość specyficznej ingerencji w skład chemiczny stopu, tworząc kompozyt hybrydowy z dwóch stopów o zróżnicowanym składzie chemicznym, kształtując w ten sposób możliwość dostosowania przebiegu przemiany martenzytycznej (jej stopnia i zakresu temperaturowego) do określonych wymogów wynikających z aspektów aplikacyjnych.

Przeprowadzona wnikliwa analiza literaturowa oraz badania wstępnie pozwoliły Autorowi na postawienie następującej tezy:

„Poprzez zastosowanie wysokoenergetycznego mielenia oraz dodatkowej obróbki cieplnej możliwe jest wytworzenie hybrydowego kompozytu $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ wykazującego odwrotną dwustopniową przemianę martenzytyczną przy jednostopniowym przebiegu przemiany klasycznej”.

Następnie Doktorant sformułował cel rozprawy doktorskiej, obejmujący:

- cel naukowy - wykazanie wpływu nanokrystalicznego prekursora, uzyskanego w drodze mechanicznej syntezy, na odwracalność przemiany martenzytycznej w stopach $Ti_{50}Ni_{50}$ i $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ oraz w kompozycie hybrydowym $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$,
- cel technologiczny – określenie parametrów stopowania mechanicznego proszków pierwiastków stopowych, wymaganych do uzyskania stopów o składzie zbliżonym do namiarowego oraz określenie optymalnych parametrów spiekania stopów $Ti_{50}Ni_{50}$ i $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ oraz kompozytu hybrydowego $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ o strukturze krystalicznej umożliwiającej wystąpienie odwracalnej przemiany martenzytycznej,
- cel użytkowy - Wytworzenie kompozytu hybrydowego $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ o parametrach przemiany martenzytycznej dostosowanych do zastosowań technicznych wymagających wielostopniowej reakcji na zmianę temperatury w zakresie od temperatury pokojowej do 100° .

Aby udowodnić wyżej wymienioną tezę określono następujące zadania badawcze:

1. Zbadanie wpływu czasu mielenia na morfologię oraz skład chemiczny stopów $Ti_{50}Ni_{50}$ i $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ stopowanych z proszków pierwiastkowych oraz określenie optymalnego czasu mechanicznego stopowania,

2. Określenie wpływu parametrów wytwarzania oraz obróbek cieplnych na odwracalną przemianę martenzytyczną w obu stopach będących materiałem wyjściowym do wytworzenia kompozytu,
3. Wytworzenie kompozytu $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ oraz scharakteryzowanie go pod względem składu chemicznego, fazowego oraz wystąpienia odwracalnej przemiany martenzytycznej,
4. Przeanalizowanie morfologii oraz mikrostruktury uzyskanego kompozytu hybrydowego $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ oraz stopnia porowatości kompozytu.

W świetle powyższych faktów przyjętą przez Doktoranta koncepcję badań uznać należy za nowatorską i jak najbardziej uzasadnioną, wpisującą się w tematykę współczesnej inżynierii materiałowej.

Ocena merytoryczna pracy

Materiały o ogólnej nazwie „stopy z pamięcią kształtu” od lat skupiają uwagę badaczy, szczególnie stopy TiNi. Posiadają dobre charakterystyki efektów pamięci kształtu, dobrą odporność korozyjną i biokompatybilność. Stąd ich powszechne zastosowanie w ortodoncji, chirurgii ortopedycznej czy do produkcji narzędzi medycznych. Stopy te wykazują zróżnicowane zakresy temperaturowe odwracalnej przemiany martenzytycznej w zależności od składu chemicznego. Modyfikacja tego składu obejmuje dodatki kosztownych pierwiastków jak Fe, Ag czy Zr. Innym sposobem modyfikacji stopów, wpływającym na przemianę, są zmiany mikrostrukturalne, np. poprzez kształtowanie wielkości ziarna. Ponadto na efekt końcowy wpływ też ma metoda wytwarzania. Dominują tu techniki odlewnicze, ale stosowana też jest metalurgia proszków, jak i ostatnio techniki przyrostowe.

Założenia swojej pracy Autor oparł o zastosowanie techniki mechanicznej syntezy odpowiednich proszków stopowych (jako element metalurgii proszków) oraz wykorzystanie koncepcji kompozytu hybrydowego hybrydowanego funkcjonalnie, który będzie wykazywał jednostopniową przemianę martenzytyczną podczas chłodzenia i dwa stopnie podczas nagrzewania. Podejście takie w pełni odpowiada współczesnym trendom inżynierii materiałowej. Zatem koncepcję rozprawy uznać należy za prawidłową, kompletną i zwartą.

Do realizacji przewidzianych badań Doktorant zastosował bogaty zestaw technik badawczych, takich jak:

- dyfrakcja rentgenowska,
- skaningowa mikroskopia elektronowa,
- transmisyjna mikroskopia elektronowa,
- spektroskopia dyspersji energii EDS,
- laserowa analiza rozkładu wielkości cząstek,
- skaningowa kalorymetria różnicowa,
- mikrotomografia rentgenowska.

Wymieniony zestaw metod i technik badawczych uznać należy za prawidłowo dobrany, pozwalający na wszechstronną charakteryzację struktury i właściwości badanych stopów.

Wyniki badań opisane w niniejszej rozprawie przedstawiono według jednakowego, logicznego i uporządkowanego systemu dla obu wytworzonych stopów (późniejszych składników kompozytu), poczynając od badań wpływu czasu mielenia na morfologię proszków, wpływu czasu mielenia na stopień homogenizacji stopów i ich składu fazowego, poprzez badania procesów krystalizacji, a kończąc na określeniu wpływu parametrów spiekania na przebieg przemiany martenzytycznej. Dla kompozytu hybrydowego Autor scharakteryzował strukturę oraz przebieg przemiany martenzytycznej, a także zaprezentował analizę uzyskaną za pomocą mikrotomografii rentgenowskiej.

Pierwszy zestaw wyników odnoszący się do wpływu czasu mielenia na morfologię i wielkość cząstek proszku nie odstaje od typowych, relacjonowanych w literaturze przedmiotu, rezultatów dotyczących proszków poddanych procesowi mielenia w młynku kulowym. Znane są i szeroko opisane takie zjawiska jak aglomeracja cząstek czy też zmiana ich morfologii i wielkości. Wyniki uzyskane przez Autora odnośnie wielkości cząstek proszku są typowe, zarówno te uzyskane dla stopu dwuskładnikowego (75 mikrometrów), jaki trójskładnikowego, z miedzią (dwie frakcje: 50 i 95 mikrometrów).

Rozdział poświęcony wpływowi czasu mielenia na stopień homogenizacji stopów zawiera interesujące wyniki. Czas mielenia wynoszący 100 h w stopie dwuskładnikowym TiNi zapewnił uzyskanie równomiernego rozkładu pierwiastków w cząstkach proszku przy naważce 10 g, natomiast zwiększenie masy proszku do 20 g skutkowało nierównomiernym rozkładem pierwiastków, nawet przy przedłużonym czasie mielenia do 140 godzin. Jest to wynikiem obniżenia energetyki procesu (zmiana stosunku masy mielników do masy proszku). W przypadku stopu

trójskładnikowego TiNiCu nie uzyskano w pełni homogenicznego rozkładu pierwiastków stopowych w cząstkach proszków. Na podkreślenie zasługuje podjęty przez Doktoranta wątek badań związany z osadzaniem się proszku na powierzchni mielników (kul). Określenie przez Autora grubości, składu chemicznego i morfologii warstwy wierzchniej osadzonej na powierzchni kul w procesie mielenia proszków jest ciekawym aspektem rozprawy, a tego typu badania rzadko relacjonowane są w literaturze.

Interesujące wyniki przyniosły badania składu fazowego stopów po procesie mechanicznej syntezy. Oba badane stopy (naważka 10 g) po 100 h procesu wykazywały w badaniach rentgenowskich strukturę quasiamorficzną, natomiast w procesie z 20 g naważką uzyskano, oprócz fazy amorficznej, dwa roztwory stałe na podstawie tytanu i niklu (stop TiNi) oraz fazę rombową B19 i roztwór stały na podstawie tytanu (stop TiNiCu). To zróżnicowanie składu fazowego stopu po mieleniu, wynikające prawdopodobnie z zastąpienia części niklu przez miedź, może być przedmiotem dalszych badań.

Bardzo bogaty, zasługujący na podkreślenie, zestaw wyników zaprezentował Doktorant w rozdziale poświęconym krystalizacji badanych stopów. Dla obu składów chemicznych w przypadku naważek 10 g (100 h mielenia) zarejestrowano jeden efekt cieplny, natomiast dla procesów z naważką 20 g (140 h mielenia) na krzywych DSC występowały trzy efekty cieplne. Zakresy temperaturowe obserwowanych przemian fazowych były podobne. Zidentyfikowane produkty krystalizacji fazy amorficznej i przemian fazowych podczas nagrzewania proszków różniły się nieznacznie. W stopie TiNi w przypadku naważki 10 g (100 h mielenia) Autor stwierdził obecność fazy macierzystej B2 i jednoskośnej fazy B19', a dla proszku z naważki 20 g (140 h mielenia) – dodatkowo niewielkiej ilości fazy Ti₂Ni. W przypadku stopu TiNiCu były to dla obu procesów fazy B19+ Ti₂(Ni,Cu). Wyniki badań dotyczące składu fazowego stopów po nagrzewaniu proszków w kalorymetrze (krystalizacja fazy amorficznej, inne przemiany fazowe) stanowią cenne osiągnięcie Doktoranta. Szkoda, że w rozprawie nie przedstawiono w postaci tabelarycznej tych wyników (temperatury przemian, fazy i ich charakterystyka), co uczyniłoby prace bardziej czytelną. Takie zestawienia znalazły się w publikacjach Doktoranta, do których sięgnął recenzent.

Na podkreślenie zasługuje ponadto wysiłek Autora włożony w kompleksową analizę związaną z obliczeniami energii aktywacji procesu krystalizacji stopu i

określenia kinetyki krystalizacji. W przypadku pierwszej wielkości Autor przeprowadził obliczenia metoda Kissingera (w dwóch wariantach) i rzadziej stosowaną metodą Ozawy. Natomiast zastosowanie metody Johnsona-Mehla-Avramiego-Kolmogorova (JMAK), bazującej na zarejestrowanych krzywych kalorymetrycznych przy wygrzewaniu izotermicznym, pozwoliło na określenie kinetyki procesu krystalizacji. Wyliczone wartości współczynnika Avramiego ($n > 2$) wskazują na trójosiowy rozrost krystalizujących ziaren kontrolowany dyfuzyjnie, o stałej szybkości zarodkowania w stopie TiNi oraz $n < 2$ dla drugiego piksu krystalizacji stopu TiNiCu (dyfuzja objętościowa, wzrost jednoosiowy). Uzyskane wyniki w pełni charakteryzują badane stopy z punktu widzenia ich stabilności termicznej.

Kolejny rozdział pracy poświęcony został określeniu wpływu parametrów spiekania na przebieg przemiany martenzytycznej i skład fazowy spieków. Dla stopu TiNi wybrano trzy kombinacje wartości temperatury i czasu procesu, dla stopu TiNiCu – cztery kombinacje. Określono temperatury charakterystyczne przemiany martenzytycznej, z tego też punktu widzenia w przypadku stopu TiNi za optymalne uznano 1000°C i 15 godzin. Skład fazowy tak otrzymanego spieku obejmował fazę macierzystą B2, równowagową fazę Ti₂Ni oraz niewielką ilość martenzytu B19'. Dla stopu TiNiCu optymalne parametry procesu spiekania to 900°C i 10 godzin, skutkujące składem fazowym złożonym z martenzytu B19 oraz dwóch faz równowagowych Ti₂(Ni,Cu) i Cu₃Ti.

Analiza wyników procesu spiekania i charakterystyka przemiany martenzytycznej uzyskana dla obu badanych stopów pozwoliła na wytworzenie kompozytu hybrydowego poprzez zmieszanie proszków obu stopów, przeprowadzenie procesu ich spiekania (1000°C, 15 godzin) i scharakteryzowanie przebiegu przemiany martenzytycznej w kompozycie. Określono temperatury charakterystyczne oraz skład fazowy spieków, wskazujący na współistnienie w kompozycie hybrydowym dwóch faz martenzytycznych o strukturach B19 i B19' oraz fazy równowagowej Ti₂Ni w ziarnach stopu Ti₅₀Ni₅₀ i Ti₂(Ni, Cu) w ziarnach stopu Ti₅₀Ni₂₅Cu₂₅. Kompozyt hybrydowy charakteryzował się dużą różnicą temperatur zarejestrowanych przy chłodzeniu i nagrzewaniu, co wskazuje na szeroką pętlę termicznej histerezy, typową dla przemiany zachodzącej między fazą macierzystą B2 a martenzytem jednoskośnym B19'.

Ostatni rozdział pracy w zakresie wyników to analiza mikrostrukturalna metodą mikrotomograficzną. Badania te pozwoliły Autorowi na określenie średnich rozmiarów

ziaren na poziomie 250 - 350 mikrometrów i porowatości w zakresie około 22 - 27% po procesie spiekania.

Rozprawę kończą rozdziały zatytułowane „Dyskusja wyników” i „Wnioski”. Pierwszy z nich nie odzwierciedla istoty przeprowadzonych badań, złożoności problemu i bogactwa wyników jakie uzyskał Doktorant, a dodatkowo koncentruje się, zdaniem recenzenta, na mniej istotnych aspektach rozprawy. Rozdział ten sprawia też wrażenie pisanego w pośpiechu. Natomiast „Wnioski” są dość skromne, mogłyby być bogatsze, szczególnie biorąc pod uwagę zakres przeprowadzonych badań.

W toku realizacji programu badań Autor uzyskał szereg interesujących wyników, a za najważniejsze i najciekawsze osiągnięcia rozprawy doktorskiej recenzent uważa:

1. badania procesu osadzania się mielonego proszku na powierzchni mielników, ze szczególnym określeniem grubości, składu chemicznego i morfologii tworzącej się warstwy,
2. szczegółową analizę składu fazowego stopów na różnych etapach ich wytwarzania i kompozytu hybrydowego po spiekaniu,
3. przeprowadzenie szczegółowych badań kalorymetrycznych badanych stopów, z analizą Kissingera i Ozawy odnośnie energii aktywacji procesu krystalizacji fazy amorficznej oraz analizy Johnsona-Mehla-Avramiego-Kolmogorova w aspekcie kinetyki przemiany,
4. wytworzenie kompozytu hybrydowego, który charakteryzował się jako całość wystąpieniem klasycznej jednostopniowej przemiany martenzytycznej oraz dwustopniowej odwrotnej przemiany martenzytycznej, gdzie efekt ten pochodził z nałożenia się na siebie jednostopniowych przemian zachodzących w indywidualnych stopach tworzących kompozyt.

Na podstawie przedstawionej do oceny pracy, nasuwają się recenzentowi następujące pytania do Doktoranta:

1. Czy zdaniem Autora osadzanie się proszku na powierzchni mielników miało charakter preferencyjny (dotyczący któregoś z pierwiastków) i czy mogło to wpływać na zmianę składu chemicznego proszku wykorzystanego do dalszych badań, a tym samym mieć wpływ na wyniki tych badań?
2. Zdaniem Autora w przypadku stopu TiNi różnica w przebiegu krystalizacji obu stopów różniących się masą naważki (10 i 20 g) oraz czasem mielenia (100 i

140 h) wynika z innego stanu naprężeń i wielkości krystalitów (str. 49). Jaki wpływ na przebieg krystalizacji mogły mieć różnice w składzie fazowym proszku z obu procesów mielenia?

3. Czy w świetle uzyskanych rezultatów dotyczących składu fazowego kompozytu hybrydowego (dwa martenzyty B19 i B19' plus faza równowagowa $Ti_2Ni/Ti_2(Ni,Cu)$, wielkości ziarna (kilkaset mikrometrów) czy też porowatości (25%), Autor może zaproponować dalsze modyfikacje procesu wytwarzania takiego kompozytu, które to modyfikacje mogłyby wpływać na uzyskane wyniki, w szczególności na parametry przemiany martenzytycznej?

Strona edytorska rozprawy i uwagi językowe

Rozprawa Pana mgr inż. Piotra Salwy liczy 100 stron, zamieszczono w niej 3 tabele oraz 79 rysunków, z czego 57 ilustruje wyniki badań przeprowadzonych przez Autora. Zaprezentowane wykresy są czytelne, a materiał ilustracyjny – dobrej jakości. Praca została napisana poprawnym językiem z punktu widzenia dyscypliny inżynierii materiałowej, jednak jej strona edytorsko-językowa wykazuje niedociągnięcia. Niektóre zauważone niezręczne sformułowania czy też błędy językowe i edytorskie:

1. Literatura, Spis rysunków i Spis tabel nie powinny być opatrzone numerem kolejnego rozdziału,
2. „Ilość rysunków...” (str. 6),
3. Niezgodność końcówek przy odmianie, np. „zależności te są dobrze opisany w literaturze” (str. 6), „termogramy przedstawiające jednostopniową przemiana” (podpis pod rys. 6),
4. „kontener” – angielskie słowa „container” i „vial” najlepiej przetłumaczyć jako pojemnik,
5. „prędkość wytworzona przez obrót kontenera” (str. 23),
6. „temperatura wytwarzana w trakcie mielenia” (str. 23),
7. W metalurgii proszków używa się terminu „cząstka proszku”, natomiast „ziarno” służy do opisu mikrostruktury stopu czy gotowego spieku,
8. Morfologia cząstek proszku tytanu „w postaci wydłużonych bloków o ostrych krawędziach” to wg normy morfologia wielościenna,
9. „faza, która potrzebuje większej ilości energii” (str. 49),
10. „pomiary termogramów przeprowadzono w zakresie temperatur...” (str.54).

11. „termogramy zmierzono z różnymi prędkościami” (str. 48); raczej nie mierzono termogramów, tylko wykonano/zarejestrowano zapisy kalorymetryczne/krzywe DSC, stosując nagrzewanie próbek z różnymi szybkościami (w dalszej części pracy jest już szybkość nagrzewania).

Powyższe uwagi nie mają jednak wpływu na pozytywną ocenę pracy,

Ocena końcowa

W podsumowaniu mojej oceny stwierdzam, że Pan mgr inż. Piotr Salwa otrzymał w swojej pracy oryginalne wyniki badań, dowiódł umiejętności stosowania różnych technik badawczych, wykazał się umiejętnością planowania eksperymentu oraz analizy uzyskanych wyników. Zastosowany przez Doktoranta zestaw technik i narzędzi badawczych pozwolił w pełni scharakteryzować wytworzone materiały i zrealizować cel pracy.

Uważam, że recenzowana rozprawa zawiera nowe, wartościowe i oryginalne rezultaty, istotnie poszerzające wiedzę naukową o możliwościach wytwarzania metodami metalurgii proszków hybrydowego kompozytu $Ti_{50}Ni_{50}/Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ wykazującego dwustopniową odwrotną przemianę martenzytyczną oraz wiedzę na temat wpływu składu fazowego stopu i jego mikrostruktury na charakterystykę wspomnianej przemiany. Praca jest kompleksowa i wieloaspektowa, a uzyskane wyniki pozwalają na prognozowanie dalszego rozwoju tak projektowanych i wytwarzanych materiałów.

Podsumowując, przedłożona do recenzji praca doktorska wykonana przez Pana mgr inż. Piotra Salwę spełnia w mojej opinii wymagania zawarte w odpowiednich przepisach prawa, stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora, wnioskuję zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa w Uniwersytecie Śląskim w Katowicach o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

