



Dr hab. inż. Tomasz Koziół, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 02.06.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Młynarek-Żak pt. „Projektowanie składu chemicznego stopów aluminium o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej w oparciu o obliczenia termodynamiczne”

wykonanej w Katedrze Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej

pod kierunkiem Pana dra hab. inż. Rafała Babilasa, prof. PŚ

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej nr RDIMa.RMT.512.7.2023 z dnia 25 kwietnia 2023 r. – Pani prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej

1. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Młynarek-Żak dotyczy projektowania, wytwarzania oraz charakterystyki struktury i wybranych właściwości stopów aluminium o zróżnicowanej strukturze – amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej. Temat pracy podkreśla aspekt projektowania składów chemicznych stopów w oparciu o obliczenia termodynamiczne, co ma na celu ograniczenie ilości kosztownych i czasochłonnych badań eksperymentalnych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 185 stron, w tym 48 stron przeglądu piśmiennictwa, 89 stron wyników i dyskusji badań własnych, bibliografię zawierającą 287 pozycji, streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz dorobku Doktorantki, a także spis użytych w pracy symboli i oznaczeń. Rozprawa zawiera łącznie 84 rysunki i 22 tabele.

Po krótkim wstępie (rozdział 1), wprowadzającym czytelnika w tematykę stopów aluminium i rys historyczny przedstawiający rozwój tych materiałów, w rozdziale 2 zatytułowanym „Przegląd piśmiennictwa” Autorka kompleksowo opisała obecny stan zagadnienia. Główny trzon tego rozdziału stanowi podrozdział 2.1 „Stopy aluminium jako materiały konstrukcyjne przyszłości”, podzielony na kolejne podrozdziały 2.1.1 – 2.1.3, w którym przedstawione są kolejno zagadnienia dotyczące stopów o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej oraz kwazikrystalicznej i złożonej strukturze faz międzymetalicznych. W podrozdziale 2.2 „Wpływ dodatków stopowych w stopach aluminium na własności fizykochemiczne” przedstawiony jest wpływ żelaza, chromu, miedzi, niklu, itru oraz cyrkonu, a więc pierwiastków wykorzystanych w części badawczej pracy jako dodatki stopowe, na

własności stopów na osnowie aluminium. Tytuł tego podrozdziału nie do końca odzwierciedla jego zawartość, ponieważ oprócz oddziaływania pierwiastków na własności fizykochemiczne, Autorka w dużej części opisuje również ich wpływ na własności mechaniczne. W podrozdziałach 2.3 i 2.4 przedstawiono kolejno podstawy termodynamiczne wykorzystane w procesie projektowania składów chemicznych stopów oraz charakterystykę metod otrzymywania materiałów na drodze szybkiego krzepnięcia. W podrozdziale 2.5 Doktorantka dokonała podsumowania przeglądu literatury, stawiając jednocześnie kilka pytań wymagających odpowiedzi i stanowiących motywację podjętych badań. Cały przegląd literatury, pomimo pewnych nieścisłości przedstawionych w dalszej części recenzji, uważam za bardzo dobry i wartościowy, a dobór bibliografii nie budzi zastrzeżeń. W tej części rozprawy cytowano 211 pozycji literaturowych (na 287 ujętych w bibliografii) i większości są to prace z ostatnich 10 lat. Wykorzystanie literatury naukowej generalnie jest bardzo silną stroną pracy. Doktorantka cytuje łącznie 10 własnych pozycji literaturowych, z których większość została opublikowana w renomowanych czasopismach z listy JCR.

W rozdziale 3, stanowiącym część badawczą rozprawy doktorskiej, Autorka przedstawiła tezę, cele pracy, wybór składów chemicznych, metody otrzymywania stopów i techniki badawcze wykorzystane w trakcie badań. W podrozdziałach 3.5 i 3.6, stanowiących łącznie 70 stron całej rozprawy, zawarte są wyniki badań własnych Doktorantki, zaś w rozdziale 3.7 „Weryfikacja parametrów termodynamicznych wraz z dyskusją” Autorka dokonała zestawiania parametrów termodynamicznych (entropia konfiguracyjna, entropia niedopasowania, entalpia mieszania, entalpia tworzenia fazy amorficznej) wpływających na energię swobodą tworzenia w badanych stopach różnych faz.

W rozdziale 4 przedstawiono 8 rozbudowanych wniosków wyciągniętych z pracy.

Cała rozprawa została generalnie dobrze zredagowana pod kątem edycyjnym, a na pochwałę zasługują jakość opracowanych rysunków oraz obrazy mikrostruktur. Pewne błędy językowe i uchybienia wskazane są w dalszej części recenzji.

2. Ocena doboru tematyki, zakresu i metodyki badań

Wytwarzanie nowych stopów metali o coraz lepszych właściwościach jest jednym z kluczowych warunków rozwoju cywilizacji. Stopy aluminium mają tu szczególne znaczenie ze względu na niską gęstość oraz możliwość uzyskania szerokiego spektrum właściwości mechanicznych i fizykochemicznych, w zależności składu chemicznego oraz uzyskanej struktury.

Podjęta w rozprawie doktorskiej tematyka wpisuje się w klasyczną dla dyscypliny inżynieria materiałowa relację pomiędzy procesem wytwarzania danego materiału oraz jego strukturą i właściwościami, przy czym uzyskanie trzech założonych struktur – amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej – nie zawsze jest możliwe do uzyskania w jednym stopie.

W odróżnieniu od znanych od wielu lat materiałów polikrystalicznych, stopy o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej charakteryzują się unikalnymi właściwościami, ale ich wytwarzanie zazwyczaj wymaga zastosowania specjalnych metod odlewania, które ogólnie można scharakteryzować jako technologie szybkiego krzepnięcia ze stanu ciekłego. Historia szkieł metalicznych, a więc stopów bazujących na metalach wytworzonych na drodze krzepnięcia, sięga roku 1960, kiedy to przedstawiono pierwsze doniesienie literaturowe potwierdzające amorficzną strukturę stopu $Au_{75}Si_{25}$. Obecnie wiadomo, że każdy stop metaliczny można zeszklić poprzez chłodzenie z zakresu stabilności fazy ciekłej z odpowiednio dużą szybkością chłodzenia, przy czym zdolność do zeszklenia danego stopu, a więc skłonność do uniknięcia krystalizacji w trakcie krzepnięcia, zależy przede wszystkim od jego składu chemicznego. Z kolei materiały nanokrystaliczne, czyli takie

w których przynajmniej jeden z charakterystycznych wymiarów struktury nie przekracza 100 nm, z uwagi na duży udział powierzchni granic ziaren w jednostce objętości stopu wykazują unikalne właściwości, których nie obserwuje się w materiałach polikrystalicznych z wielkością ziarna w skali mikrometrycznej. Z tego powodu - podobnie jak szkła metaliczne - mają one bardzo duży potencjał aplikacyjny. Wynalezienie w 1982 roku przez Dana Shechtmana kwazikryształów, które pomimo uporządkowania dalekiego zasięgu nie wykazują okresowości charakterystycznej dla kryształów, zapoczątkowało nowy rozdział w inżynierii materiałowej, a kwazikryształ określany jest jako nowa forma stanu stałego – pośrednia pomiędzy kryształem i szkłem. Również kwazikrystały, czy szerzej złożone stopy metali charakteryzujące się dużymi komórkami elementarnymi, mają bardzo duży potencjał aplikacyjny, w tym jako materiały służące do magazynowania wodoru. Obecnie wiadomo, że kwazikrystały można uzyskać nawet w warunkach niezbyt dużych szybkości chłodzenia w trakcie krzepnięcia, a także jako efekt kontrolowanej dewitryfikacji, czyli krystalizacji fazy amorficznej w trakcie nagrzewania stopu. Faza ikosaedryczna w układzie Al-Cu-Fe jest nawet termodynamicznie stabilna w temperaturze otoczenia. Zdaniem Recenzenta problematyka naukowa podjęta w opiniowanej rozprawie doktorskiej jest aktualna i doskonale lokuje się w nurcie badań prowadzonych obecnie w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Świadczą o tym również publikacje związane z realizowaną pracą dokorską, w których Doktorantka jest współautorką, wydane w wiodących czasopismach związanych z tą dyscypliną.

Tytuł rozprawy oraz postawiona teza wskazują, że kluczowym aspektem wziętym pod uwagę przy projektowaniu stopów o założonej strukturze amorficznej, nano- lub kwazikrystalicznej było uwzględnienie wyników analizy termodynamicznej. Zdaniem Recenzenta dobór składów chemicznych stopów nie jest w pracy wystarczająco opisany i wyjaśniony. Docelowe badania własne Doktorantka przeprowadziła na 3 grupach stopów: $Al_{65}(Cu,Ni,Zr,Cr)_{20}Fe_{15}$, $Al_{71}(Cu,Ni,Zr,Cr)_{24}Fe_5$ oraz Al-Ni-Fe-Y ($Al_{79}Ni_5Fe_5Y_{11}$, $Al_{79}Ni_5Fe_{11}Y_5$, $Al_{79}Ni_{11}Fe_5Y_5$, $Al_{79}Ni_7Fe_7Y_7$), co wiązało się z koniecznością syntezy przynajmniej 12 stopów. Mając na uwadze fakt, że w takiej pracy eksperymentalnej niezbędne jest uprzednia optymalizacja warunków odlewania, co wiąże się z przygotowaniem dodatkowych odlewów, należy stwierdzić, że realizacja założonego planu badań wymagała od Doktorantki ogromnego nakładu pracy. Na uwagę zasługuje szerokie spektrum wykorzystanych metod badawczych, mających na celu określenie struktury i mikrostruktury stopów (rentgenowska analiza fazowa, dyfrakcja neutronów, mikroskopia świetlna, skaningowa i transmisyjna mikroskopia elektronowa), ich własności magnetycznych (magnetometria wibracyjna), mechanicznych (twardość Vickersa, testy tribologiczne metodą pin-on-disc) i odporności na korozję (metodą potencjodynamiczną oraz elektrochemiczną spektroskopia impedancyjna). Ponadto dla wybranych wariantów zastosowano skaningową mikroskopię sił z sondą Kelwina oraz spektroskopię Mössbauera. Zdaniem recenzenta taki zestaw użytych technik, w odniesieniu do założonego celu pracy, dobrano poprawnie, używając ich w sposób komplementarny. Zastrzeżenie budzi jedynie zawarte na rysunku 25 sformułowanie „własności kalorymetryczne” określone metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej.

3. Ocena merytoryczna pracy

Oceniając pracę od strony merytorycznej należy podkreślić bardzo szeroki i ambitny plan badań zakładający wytworzenie stopów Al o różnej strukturze – amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej. Stopy aluminium generalnie zalicza się do materiałów o ograniczonej zdolności do zeszklenia, a uzyskanie masywnego szkła metalicznego jest bardzo trudne. Z kolei materiały te są znane z możliwości uzyskania faz kwazikrystalicznych, ale ich wytworzenie na drodze odlewania

zazwyczaj wymaga stosowania metod pozwalających osiągnąć wysokie szybkości chłodzenia w trakcie krzepnięcia. Jednocześnie wyniki badań wskazują na wielofazową strukturę stopów, w których jedną z identyfikowanych faz stanowi zazwyczaj faza kwazikrystaliczna, a zatem w opinii Recenzenta uzyskano kompozyty zawierające fazy kwazikrystaliczne, a nie stop Al o strukturze kwazikrystalicznej. Niemniej już samo wykazanie obecności różnych kwazikryształów w badanych stopach stanowi istotny wkład w rozwój inżynierii materiałowej.

Zaplanowane eksperymenty oraz interpretacja wyników badań są poprawne i jako całość stanowią bardzo dobre opracowanie. Program prowadzonych badań został podporządkowany głównemu celowi pracy, czyli uzyskaniu trzech założonych struktur. Już w części literaturowej Autorka według takiej kolejności struktur zapoznaje czytelnika ze stanem wiedzy, a następnie przedstawiając wyniki badań własnych konsekwentnie trzyma się takiego podziału. Niezwykle cenne jest to, że uzyskane w pracy wyniki są na bieżąco konfrontowane z doniesieniami literaturowymi, co świadczy o bardzo dobrym rozeznaniu Doktorantki w tym obszarze, a także o aktualności prowadzonych badań.

Za największe osiągnięcie Autorki uważam wykazanie wpływu składu chemicznego na zachowanie korozyjne stopów, a w szczególności pozytywny wpływ obecności faz międzymetalicznych o złożonej strukturze. Ponadto niezwykle cenne są przedstawione w rozprawie doktorskiej mapy zależności z których na podstawie zależności termodynamicznych określić można prawdopodobny zakres występowania w strukturze różnych faz.

Każda praca, a szczególnie tak obszerna rozprawa doktorska, budzi pewne zastrzeżenia i zawiera pewne niedociągnięcia. Poniżej zestawilem uwagi ogólne i dyskusyjne, o których wyjaśnienie proszę Doktorantkę, oraz mniej istotne uwagi natury edycyjnej.

Uwagi ogólne i dyskusyjne

1. Tytuł rozprawy „Projektowanie składu chemicznego stopów aluminium o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej w oparciu o obliczenia termodynamiczne” oraz teza pracy „Zastosowanie analizy termodynamicznej w projektowaniu stopów typu Al-(Cu,Ni,Cr,Zr)-Fe oraz Al-Ni-Fe-Y umożliwia wytwarzanie materiałów o złożonej strukturze atomowej, w tym amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej, co prowadzi do poprawy ich własności fizykochemicznych” sugerują, że składy chemiczne stopów zostały wybrane w oparciu o obliczenia termodynamiczne, wobec czego naturalnym byłoby przedstawienie w pierwszej kolejności wyników obliczeń i optymalizacji prowadzących do wyboru składów chemicznych badanych stopów. W rozdziale 3.3 zatytułowanym „Wybór składów chemicznych stopów do badań w oparciu o analizę termodynamiczną oraz ich otrzymywanie” oczekiwałem wyjaśnienia doboru składu chemicznego stopów, tymczasem zawarte jest jedno zdanie odwołujące się do artykułu współautorstwa Doktorantki: „W pierwszej grupie, udziały atomowe zostały dobrane na podstawie wyników badań dla stopu $Al_{65}Cu_{20}Fe_{15}$ opisanych w publikacji [135]”. W artykule tym nie ma jednak wyjaśnienia doboru składu chemicznego stopów. Proszę o wyjaśnienie jak dobierane były składy chemiczne stopów w aspekcie przewidywania założonej struktury amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej?
2. Strona 39 – „Występowanie struktury kwazikrystalicznej potwierdzono przez analizę fazową dyfraktogramów rentgenowskich [85,133,135], wysokorozdzielczą transmisyjną mikroskopię elektronową [133,135], skaningową kalorymetrię różnicową [85,135] oraz dyfrakcję neutronów [135]”. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób identyfikowano fazy kwazikrystaliczne używając rentgenowskiej analizy fazowej i skaningowej kalorymetrii różnicowej?

3. Na str. 22 i 61 mowa jest o „niskim współczynniku GFA stopów aluminium”. Jaki współczynnik zdolności do zeszklenia miała na myśli Autorka? Czy istnieje jeden uniwersalny parametr (współczynnik), który opisuje zdolność do zeszklenia stopów aluminium?
4. Str. 49 - „Entropia konfiguracyjna ΔS^{conf} stanowi wielkość termodynamiczną, która charakteryzuje chaos strukturalny uwzględniając skład chemiczny i udziały atomowe pierwiastków w stopie [76,181]”. Czy funkcja ta zależy od rodzaju pierwiastków użytych do wytworzenia stopu?
5. Str. 50 – „Entalpia H jest wielkością charakteryzującą rozpuszczalność składników stopu [179]”. Proszę o doprecyzowanie co Autorka miała na myśli?
6. Na stronie 51 przedstawiono równanie na ΔG^{mix} , która jest równa różnicy entalpii mieszania ΔH^{mix} oraz iloczynu średnia wartości temperatury topnienia i entropii konfiguracyjnej ($T_x \cdot \Delta S^{\text{conf}}$). W tabeli 20 (str. 144) funkcja ΔG^{mix} opisana jest jako „energia swobodna Gibbsa mieszania”. Zdaniem Recenzenta sformułowań „entalpia mieszania” i „energia swobodna Gibbsa mieszania” należy używać w odniesieniu do roztworów, a w przypadku powstawania fazy międzymetalicznej czy fazy amorficznej lepszymi określeniami są „entalpia/energia swobodna tworzenia” lub „entalpia/energia swobodna formowania”. Proszę o wyjaśnienie do jakiej fazy odnosi się ΔG^{mix} i w jaki sposób została wyznaczana?
7. Str. 56 – w równaniu (14) $R = A/x^2$ jako x Autorka zdefiniowała odległość od powierzchni kontaktu płyta/podłoże. Zdaniem Recenzenta w tym równaniu x stanowi grubość wyrobu, np. taśmy w metodzie melt spinning lub średnica pręta w metodzie odlewania ciśnieniowego.
8. Str. 59 – „Małą zdolność do zeszklenia stopów aluminium potwierdzają badania opisane w artykule [61], ponieważ pomimo zastosowania technologii melt-spinning oraz szybkości obrotowej bębna 30 m/s struktura stopów Al-Y-Fe była amorficzno-nanokrystaliczna”. Szybkość bębna wyrażona w m/s jest szybkością, a właściwie prędkością liniową. Proszę o wyjaśnienie jakiej prędkości obrotowej odpowiada taka prędkość liniowa? Jakie były pozostałe parametry procesu (ciśnienie wypychania, odległość końcówki tygla od bębna) i zastosowany przekrój szczeliny? Jakie były parametry odlewania stopów w metodzie odlewania wysokociśnieniowego do miedzianej formy?
9. Str. 69 – na schemacie prac badawczych (rys. 25) znajdują się „własności kalorymetryczne” określone metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej. Proszę o wyjaśnienie co Autorka rozumie jako własności kalorymetryczne stopu?
10. Str. 99 – „Zgodnie z tymi wynikami, w porównaniu z danymi literaturowymi [28,54–56], mechanizm krystalizacji faz z cieczy metalicznej przedstawia się następująco: Cu_3Al , $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$, AlCuFe , Al_2Cu ” (analogiczny opis jest również na stronie 100). Taki opis wskazuje jedynie na kolejność powstawania faz podczas przemian fazowych, ale nic nie mówi o mechanizmie ich tworzenia. Czy np. dla stopu $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{15}$ można przewidzieć w następstwie jakich przemian powstają ww. fazy?
11. Analiza dyfraktometryczna wykazała obecność Cr w stopie $\text{Al}_{71}\text{Cr}_{24}\text{Fe}_5$ w materiale wstępnym i po odlaniu w formie płytek, podczas gdy w badaniach dyfrakcji neutronowej czysty Cr nie został zidentyfikowany. Z czego to może wynikać?
12. Zastosowanie tygla korundowego w trakcie syntezy stopów może skutkować przedostaniem się tlenu do stopu, co w konsekwencji może mieć duży wpływ na zdolność do zeszklenia stopu. Czy zawartość tlenu w przygotowanych stopach była mierzona?

Uwagi edycyjne

1. Strona 37 – w zdaniu „Kwazikryształy wykazują w dużym stopniu symetrie pięciokątne, ośmiokątne, dziesięciokątne, dwunastokątne podlegające specjalnej zasadzie kwaziperiodyczności [122]” jest błąd – powinno być pięciokrotne, ośmiokrotne, dziesięciokrotne, dwunastokrotne.
2. Tytuł podrozdziału 2.2 „Wpływ dodatków stopowych w stopach aluminium na własności fizykochemiczne” nie odzwierciedla zawartości, ponieważ w dużej mierze opisywane są w nim własności mechaniczne stopów Al.
3. Pojęcia entalpii tworzenia i entalpii formowania, oznaczają dokładnie to samo i Autorka powinna konsekwentnie stosować jedno określenie. Ponadto w kilku miejscach w opisie brakuje słowa „mieszania” lub „tworzenia”. Przykładowo na str. 51 w zdaniu „Autorzy ustalili, że oba składy chemiczne charakteryzowały się ujemnymi wartościami energii swobodnej Gibbsa, dlatego ich zdolność formowania struktury amorficznej jest porównywalna”. Po słowach „energii swobodnej Gibbsa” brakuje sformułowania „tworzenia fazy amorficznej”.
4. W przeglądzie literatury wielokrotnie cytowane są prace w sposób, który nie do końca jest przyjazny dla czytelnika, np. „Według publikacji [26]...”, „Naukowcy w najnowszych publikacjach [35] podkreślają...”, „Według autorów [5], wytrzymałość ...”, „Na rysunku 6 przedstawiono schematy (...) na podstawie publikacji [5]”. Zdaniem Recenzenta poprawniejszym byłoby użycie sformułowań typu „Według Inuoie i Kimura [5] ...” lub „Najnowsze badania podkreślają ... [35]”.
5. Str. 11: „Na rysunku 1 przedstawiono dane zaczerpnięte z bazy Scopus dotyczące liczby publikacji poświęconych stopom aluminium o strukturze amorficznej (...), nanokrystalicznej (...) oraz kwazikrystalicznej (...)”, podczas gdy przywoływane dane dotyczą wszystkich stopów, a nie tylko tych na osnowie aluminium. Ten sam błąd dotyczy również opisu rysunku 2 ze strony 13.
6. Rys. 11 – na osi x zamiast 100 powinno być 1000.
7. Na rys. 20 wykorzystana w pracy metoda odlewania na szybko wirujący bęben niepotrzebnie została opisana jako metoda przędzenia ze stopu.
8. Str. 72: „Stal łożyskowa 100C6” – powinno być 100Cr6.
9. Rys. 75 i 76 – brak dyfrakcji elektronowych o których mowa w podpisach obu rysunków.
10. Na dyfraktogramach elektronowych (rys. 36, 37 i 40) brakuje osi pasa. Dodatkowo refleksy na rys. 40 zostały błędnie zaindeksowane - refleks centralny opisany jest jako „-230”, zamiast „000”.

Przedstawione uwagi, często o charakterze polemicznym, w niczym nie umniejszają wartości naukowej recenzowanej rozprawy i nie wpływają na mój pozytywny odbiór całej pracy.

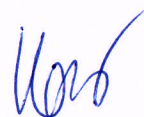
4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Młynarek-Żak pt. „Projektowanie składu chemicznego stopów aluminium o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej w oparciu o obliczenia termodynamiczne” jest bardzo dobrze ulokowana w dyscyplinie inżynieria materiałowa, a wyniki uzyskanych badań wnoszą wkład w rozwój dyscypliny poprzez określenie

możliwości występowania w strukturze różnych faz na podstawie zależności termodynamicznych, a także wykazanie pozytywnego wpływu obecności kwazikryształów na odporność korozyjną stopów.

Mimo zawartych w recenzji uwag, jednoznacznie stwierdzam, że praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a także potwierdza szeroką wiedzę Autorki w zakresie wytwarzania oraz charakterystyki struktury i właściwości stopów metali. Przedstawiony plan badawczy oraz uzyskane wyniki i ich interpretacja potwierdzają umiejętność Doktorantki w zakresie stawiania problemów badawczych, a także samodzielnego prowadzenia badań naukowych przy wykorzystaniu odpowiednich metod badawczych.

Przestawiona do oceny praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przewidziane odpowiednimi ustawami, wobec czego wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Katarzyny Młynarek-Żak do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę istotę podjętych badań oraz ich wysoki poziom naukowy, potwierdzony również publikacjami w renomowanych czasopismach z obszaru inżynierii materiałowej, jednocześnie wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o wyróżnienie pracy.



.....
Dr hab. inż. Tomasz Kozieł, prof. AGH