

Gliwice, 02.02.2024 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Amelii Zięby

pt.: „*Mikrostruktura i właściwości katalityczne faz międzymetalicznych  
wytwarzanych metodą szybkiej krystalizacji*”

promotor: prof. dr hab. Lidia Lityńska-Dobrzyńska  
promotor pomocniczy: dr inż. Katarzyna Stan-Głowińska

sporządzona na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej  
im. A. Krupkowskiego PAN w Krakowie, uchwała z dnia 16 listopada 2023 r.

### 1. Ogólna charakterystyka pracy

Dynamiczny rozwój wielu sektorów przemysłu stwarza zapotrzebowanie na zaawansowane stopy aluminium, które mogą wykorzystywane jako materiały konstrukcyjne lub funkcjonalne. W celu poprawy własności klasycznych stopów metali, opracowano technologie szybkiego krzepnięcia polegające na doprowadzeniu materiału do stanu nierównowagowego. Metody szybkiego chłodzenia stopów ze stanu ciekłego wraz z odpowiednim doбором składu chemicznego, pozwalają wytwarzać materiały o unikatowych strukturach oraz odmiennych właściwościach w porównaniu do konwencjonalnej, uporządkowanej struktury krystalicznej metali. Wobec powyższego możliwe jest wytwarzanie stopów na bazie aluminium o strukturze kwazikrystalicznej lub faz międzymetalicznych. Zainteresowanie technologiami szybkiego chłodzenia stopów ze stanu ciekłego ciągle się zwiększa, na co wskazuje rosnąca liczba publikacji pojawiających się w bazie Science Direct. W odniesieniu do zapotrzebowania na zaawansowane stopy aluminium oraz rosnące

zainteresowanie badaczy strukturami osiąganymi za pomocą metod szybkiego chłodzenia istotne jest więc ustalenie odpowiedniego składu chemicznego wytwarzanych w ten sposób materiałów.

Praca doktorska Pani mgr inż. Amelii Zięby dotyczy badań faz międzymetalicznych w stopach na bazie aluminium otrzymanywanych metodami szybkiego chłodzenia z przeznaczeniem do zastosowań katalitycznych. Doniesienia literaturowe wskazują na możliwość zastosowania związków międzymetalicznych jako aktywnych katalizatorów dla reakcji chemicznych o dużym znaczeniu przemysłowym. Jedną z proponowanych grup materiałów są fazy zawierające aluminium i metale przejściowe, które mogą być alternatywą dla powszechnie stosowanych w reakcjach uwodornienia węglowodorów nienasyconych katalizatorów opartych na kosztownych metalach szlachetnych takich jak platyna, pallad czy rod.

Recenzowana rozprawa doktorska została przygotowana w układzie klasycznym typowym dla prac reprezentujących nauki inżynierjno-techniczne. Praca liczy w sumie 107 stron zredagowanych w formacie A4, napisana jest w języku polskim. W rozprawie tej można wyszczególnić 7 głównych rozdziałów, na które składa się przegląd piśmiennictwa, teza i cel pracy, metodyka badań, wyniki, dyskusja, podsumowanie oraz wnioski. Przegląd piśmiennictwa obejmuje treści dotyczące faz międzymetalicznych i kwazikryształów, charakterystyki wybranych układów stopowych na osnowie aluminium: Al-Fe, Al-Co, Al-Cr, Al-V w zakresie formowania faz międzymetalicznych i kwazikrystalicznych, opisu związków i faz międzymetalicznych stosowanych w katalizie oraz metod ich wytwarzania.

W ramach metodyki badawczej zawarto podrozdziały dotyczące wyboru materiałów do badań, metod charakterystyki wytworzonych próbek w zakresie obserwacji mikroskopowych i badań składu fazowego. W rozdziale tym Autorka przedstawiła, także metodykę badania właściwości katalitycznych wybranych stopów.

Rozdział 4 zawiera podrozdziały dotyczące opisu struktury i składu fazowego stopów Al-Fe, Al-Co, Al-Cr, Al-V, Al-Ni-Fe, Al-Ni-Co, Al-Co-Cu, wyniki badań aktywności katalitycznej oraz materiałów poreakcyjnych. Przedstawienie wyników badań kończy dyskusja w zakresie badań mikrostrukturalnych i właściwości katalitycznych. Podsumowanie wyników badań własnych Doktorantka zamieściła w rozdziale 6, natomiast w rozdziale 7 przedstawiła wnioski końcowe.

Praca zawiera również streszczenie w języku polskim i angielskim (abstract), wykaz skrótów i oznaczeń oraz wprowadzenie. Bibliografia obejmuje 129 pozycji, z czego ponad 40 pozycji została wydana w ciągu ostatnich 10 lat. Wszystkie cytowane pozycje literaturowe zostały opublikowane w języku angielskim. Całość rozprawy doktorskiej zamyka lista publikacji, które dotyczą tematyki doktoratu, zaś Doktorantka jest ich współautorką.

Należy podkreślić, że badania zamieszczone w recenzowanej pracy doktorskiej zostały zrealizowane w ramach dwóch projektów badawczych finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki: Opus 2017/25/B/ST8/02804 oraz Preludium 2021/N/ST8/02533, którego Doktorantka jest kierownikiem.

## 2. Wybór tematyki badawczej i celu pracy

Złożone stopy metali (ang. *complex metallic alloys*, CMAs) składają się z międzymetalicznych faz o złożonej strukturze (ang. *structurally complex alloy phases*, SCAPs). Stopy te charakteryzują się dużymi komórkami elementarnymi, które mogą być zbudowane nawet z tysięcy atomów. Kryształy, które zawierają kilkadziesiąt lub więcej atomów na komórkę elementarną oraz kwazikryształy, wykazują interesujące właściwości. Symetria translacyjna w takich materiałach znacznie przekracza typowe odległości międzyatomowe, co może prowadzić do uzyskania właściwości charakterystycznych dla materiałów szklistych. Najszerzej badaną grupą stopów CMAs lub stopów o strukturze SCAPs są stopy aluminium, szczególnie z dodatkami chromu i żelaza. Pierwsze CMAs badano w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku w układach Na-Cd, Mg-Al, Cu-Cd. Stopy te charakteryzowały się dużymi komórkami elementarnymi zbudowanymi z setek atomów. Od tego czasu, odkryto i opisano wiele faz międzymetalicznych typu SCAPs, co świadczy dużym potencjale nadawczym tych materiałów.

Kwazikryształy obok struktur krystalicznych i amorficznych stanowią trzeci rodzaj struktury ciała stałego. Atomy w strukturze kwazikrystalicznej nie wykazują okresowości charakterystycznej dla kryształu, lecz charakteryzują się uporządkowaniem dalekiego zasięgu. Kwazikryształy wykazują w dużym stopniu symetrie pięciokątne, ośmiokątne, dziesięciokątne, dwunastokątne podlegające specjalnej zasadzie kwaziperiodyczności. Struktury kwazikrystaliczne charakteryzują się interesującymi właściwościami, np.: niskim współczynnikiem tarcia, dobrą wytrzymałością mechaniczną, dużą twardością, stabilnością termiczną i odpornością na korozję. W literaturze opisano wiele systemów stopowych, w których możliwe jest otrzymanie faz kwazikrystalicznych, co świadczy o ich powszechnym występowaniu.

Zakres pracy doktorskiej Pani mgr inż. Amelii Zięby bardzo dobrze wpisuje się w obszar działalności naukowo-badawczej prowadzonej w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w zakresie badania faz międzymetalicznych w stopach wytwarzanych metodami szybkiego chłodzenia ze stanu ciekłego. Dodatkowo, charakterystyka mikrostruktury stopów aluminium umacnianych fazami kwazikrystalicznymi badana metodami transmisyjnej mikroskopii elektronowej jest z sukcesami realizowana przez Panią promotor prof. dr hab. Lidię Lityńską-

Dobrzyńską oraz Panią dr inż. Katarzynę Stan-Głowińską - promotor pomocniczą niniejszej rozprawy doktorskiej.

Można zatem stwierdzić, że badania w zakresie otrzymywania stopów aluminium o strukturze faz międzymetalicznych i kwazikrystalicznych pod kątem aktywności katalitycznej charakteryzują się oryginalnością oraz stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

Zakładam, że przedstawione w pracy doktorskiej wyniki stopów aluminium zawierających fazy międzymetaliczne i kwazikrystaliczne będą istotne, także z punktu widzenia przemysłu chemicznego, w tym procesów katalitycznych. W związku z powyższym wybór tematyki pracy doktorskiej uznaję za właściwy, zarówno ze względu na jej ważność, a także aktualność podjętej tematyki badawczej.

### **3. Ocena rozprawy doktorskiej**

Podstawowym celem pracy było wytworzenie materiałów posiadających właściwości katalityczne na bazie łatwo dostępnych pierwiastków, które będą alternatywą dla katalizatorów zawierających metale szlachetne. Dodatkowo, Doktorantka, założyła, że technologia przygotowania takich katalizatorów nie powinna być skomplikowana oraz nie powinna być energo- i czasochłonna. Reakcje przeprowadzane z takimi katalizatorami powinny wykazywać dużą konwersję i selektywność, co więcej wykazywać podatność do odzysku i ponownego użycia.

Biorąc pod uwagę powyższe wymagania i wytyczne Doktorantka przygotowała syntetyczny przegląd literatury źródłowej pod kątem poszukiwania materiałów funkcjonalnych wykazujących właściwości katalityczne. Autorka wskazuje na materiały o strukturze faz międzymetalicznych, które wykazują właściwości termoelektryczne, magnetyczne czy katalityczne. Do tej grupy materiałów zaliczane są także kwazikryształy oraz aproksymanty kwazikryształów. Ponadto, wyniki badań właściwości funkcjonalnych kwazikryształów wskazują na cechy katalityczne tych materiałów. Materiałami spełniającymi te wymagania są związki międzymetaliczne w układach aluminium. W przeglądzie literatury Doktorantka opisuje układy dwuskładnikowe Al-Fe, Al-Co, Al-Cr oraz Al-V, które są aproksymantami kwazikryształów oraz układy trójskładnikowe Al-Ni-Co, Al-Ni-Fe oraz Al-Co-Cu o składach chemicznych odpowiadającym kwazikryształom. Autorka stwierdza, że pomimo bardzo dobrych właściwości katalitycznych faz międzymetalicznych zawierających metale szlachetne (np. pallad) poszukiwano rozwiązań alternatywnych pozwalających zastąpić metale szlachetne łatwiej dostępnymi i o wiele tańszymi materiałami. Pierwsze prace dotyczyły stopów na bazie niklu jako katalizatorów reakcji rozkładu metanolu oraz uwodornienia acetyleny. Kolejne prace dotyczyły zastosowania fazy  $Al_{13}Fe_4$  w reakcji

uwodornienia acetyleny. Wyniki te dały początek poszukiwaniu kolejnych faz międzymetalicznych zawierających aluminium wykazujących aktywność katalityczną.

Na podstawie studiów literaturowych Pani mgr inż. Amelia Zięba sformułowała następującą tezę badawczą: *„Zastosowanie metody odlewania na wirujący wałek do wytworzenia taśm o strukturze złożonych faz międzymetalicznych aluminium oraz metali przejściowych pozwala na uzyskanie materiałów wykazujących właściwości katalityczne w reakcjach uwodornienia węglowodorów nienasyconych”*. Uważam, że teza jest zrozumiała oraz została poprawnie sformułowana.

W celu weryfikacji sformułowanej tezy badawczej Autorka wyznaczyła następujące zadania:

- wybór składu chemicznego stopów wykazujących potencjalne właściwości katalityczne,
- wytworzenie materiałów będących fazami międzymetalicznymi aluminium i metali przejściowych wykorzystując metodę odlewania na wirujący bęben miedziany,
- charakterystyka morfologii oraz składu fazowego wytworzonych próbek,
- określenie potencjału aplikacyjnego wytworzonych stopów jako katalizatorów w reakcjach uwodornienia węglowodorów nienasyconych,
- ocena wpływu parametrów reakcji na stan zastosowanych katalizatorów.

Przedstawiony obszar badawczy rozprawy doktorskiej wpisuje się w główny nurt badań nad stopami metali zawierającymi fazy międzymetaliczne i kwazikrystaliczne, dotyczy aktualnej i ważnej naukowo tematyki badawczej. Ponadto, opracowane wyniki są istotne z punktu widzenia rozwijającej się inżynierii materiałów katalitycznych oraz będą mogły zostać opublikowane w czasopismach o wysokim współczynniku wpływu.

W rozdziale 3 zatytułowanym „Metodyka badań” Doktorantka przedstawiła skład chemiczny sześciu stopów dwuskładnikowych oraz czterech stopów trójskładnikowych wraz z oczekiwanym składem fazowym. Wybór stopów został oparty o dane literaturowe wskazujące na możliwość uzyskania stopów o strukturze faz międzymetalicznych lub kwazikrystalicznych. Doktorantka przeprowadziła szereg prac eksperymentalno-badawczych obejmujących:

- obserwacje mikroskopowe szybkochłodzonych taśm za pomocą mikroskopii elektronowej, w tym SEM, TEM, HAADF-STEM,
- badania składu chemicznego metodą EDS oraz XPS,
- badania składu fazowego za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej ze źródeł klasycznych i synchrotronowych,
- badania rozkładu orientacji ziaren metodą EBSD,
- badania właściwości katalitycznych w reakcji uwodornienia fenyloacetyleny,
- badania składu mieszaniny reakcyjnej metodą chromatografii gazowej.

Badania wstępne wytworzonych stopów w postaci szybkochłodzonych taśm Doktorantka rozpoczęła od obserwacji morfologii powierzchni odlanych próbek od strony miedzianego walca oraz od strony swobodnie krzepnącej. W przypadku stopów dwuskładnikowych Al-Fe wytworzono dwa materiały, które dodatkowo zostały poddane wygrzewaniu w temperaturze 500 oraz 900°C w czasie 48 h. Badania składu fazowego za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej i elektronowej potwierdziły występowanie zakładanej przez Autorkę fazy  $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$  dla stopu AF1 ( $\text{Al}_{76,5}\text{Co}_{23,5}$  at.%) oraz fazy  $\text{Al}_5\text{Fe}_2$  dla stopu AF2 ( $\text{Al}_{71,5}\text{Fe}_{28,5}$  at.%) w stanie po wygrzewaniu. Badania dyfrakcyjne stopów aluminium z kobaltem AC1 ( $\text{Al}_{76,5}\text{Co}_{23,5}$  at.%) odlanych w postaci taśm pozwoliły na identyfikację fazy  $\text{Al}_{13}\text{Co}_4$ ,  $\text{Al}_9\text{Co}_2$  oraz kwazikryształu dekadonalnego. Skład fazowy taśm tego samego stopu po wygrzewaniu w temperaturze 900°C zmienił się całkowicie, zidentyfikowano występowanie fazy O- $\text{Al}_{13}\text{Co}_4$  oraz fazy Y- $\text{Al}_{13}\text{Co}_4$ . W przypadku stopu AC2 ( $\text{Al}_{71,5}\text{Co}_{28,5}$  at.%) w stanie po odlaniu zidentyfikowano strukturę kwazikrystaliczną. Po obróbce cieplnej faza kwazikrystaliczna uległa częściowemu rozpadowi na fazy  $\text{Al}_3\text{Co}$  oraz  $\text{Al}_9\text{Co}_2$ . W ramach stopów dwuskładnikowych odlano dodatkowo taśmy Al-Cr ( $\text{Al}_{86,5}\text{Cr}_{13,5}$  at.%) oraz Al-V ( $\text{Al}_{86,5}\text{V}_{13,5}$  at.%). Badania dyfrakcyjne taśm Al-Cr potwierdziły występowanie złożonej fazy  $\text{Al}_{45}\text{Cr}_7$  oraz roztworu stałego  $\alpha\text{-Al}$ , który nie występuje po zastosowaniu wygrzewania w temperaturze 600°C. Taśmy stopu Al-V charakteryzowały się strukturą wielofazową zawierającą kwazikrystaliczną fazę ikosaedryczną, fazę  $\text{Al}_3\text{V}$  oraz roztwór stały  $\alpha\text{-Al}$ , natomiast po wygrzewaniu struktura stopu składała się ze złożonej fazy  $\text{Al}_{45}\text{V}_7$  oraz roztworu stałego. Badania dyfrakcyjne obejmowały także stopy trójskładnikowe  $\text{Al}_{70}\text{Ni}_{15}\text{Fe}_{15}$ ,  $\text{Al}_{71,5}\text{Ni}_{23,5}\text{Fe}_5$ ,  $\text{Al}_{70}\text{Ni}_{15}\text{Co}_{15}$  oraz  $\text{Al}_{65}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{15}$  at.%. Wszystkie stopy trójskładnikowe w stanie po odlaniu zawierają dekadonalną fazę kwazikrystaliczną. Ponadto, dla taśmy stopu  $\text{Al}_{70}\text{Ni}_{15}\text{Co}_{15}$  potwierdzono jednofazową strukturę kwazikrystaliczną.

Badania katalityczne przeprowadzono dla stopów dwuskładnikowych (w stanie bezpośrednio po odlaniu oraz po wygrzewaniu) oraz dla stopów trójskładnikowych. Najwyższy stopień konwersji fenyloacetyleny (90%) uzyskano w reakcjach ze stopami AF2 oraz AC2 w stanie bezpośrednio po odlaniu. Testy katalityczne dla stopów trójskładnikowych wykazały, że najkorzystniejszą relację konwersji i selektywności otrzymano dla stopu  $\text{Al}_{70}\text{Ni}_{15}\text{Co}_{15}$  (struktura jednofazowa kwazikrystaliczna). Doktorantka w ramach pracy własnej wykonała także badania struktury i składu chemicznego powierzchni wybranych stopów po reakcjach katalitycznych. Autorka nie zaobserwowała istotnej degradacji cząstek po procesach katalitycznych. Stwierdzono tendencję do utleniania się cząstek poreakcyjnych.

Wartościowym rozdziałem recenzowanej rozprawy jest rozdział 5. zatytułowany „Dyskusja”, w którym Doktorantka porównuje wyniki badań wytworzonych materiałów oraz dokonuje oceny własności katalitycznych oraz założenia do dalszych badań. Autorka wykazała, że większość

wytworzonych materiałów posiada strukturę krystaliczną, w stopach zawierających kobalt i wanad zidentyfikowano dodatkowo fazy kwazikrystaliczne w stanie po odlaniu. Wytworzone stopy wykazały aktywność katalityczną w reakcji uwodornienia fenyloacetyleny do styrenu, który jest ważnym prekursorem dla przemysłu chemicznego. Dodatkowo, stopy jednofazowe o składzie kwazikryształów dekahedralnych zostały użyte jako katalizatory reakcji uwodornienia acetyleny zapewniając selektywność do etylenu.

Pracę doktorską mgr inż. Amelii Zięby uważam za interesującą oraz wartościową pod względem naukowym oraz aplikacyjnym. Autorka zrealizowała założone zadania badawcze, przeprowadziła eksperymenty, których wyniki mają charakter użyteczny. Od strony merytorycznej, stwierdzam, że zarówno zaplanowanie eksperymentu, dobór technik badawczych, opracowanie i interpretacja wyników wykonane zostały prawidłowo.

Praca napisana jest poprawnym językiem, a zastosowana terminologia techniczna jest właściwa. Niezręczności językowe, skróty myślowe oraz nieliczne usterki edycyjne nie wpływają na moją pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy doktorskiej. Na szczególne podkreślenie zasługuje szeroka współpraca Doktorantki z naukowcami z innych ośrodków krajowych i zagranicznych m.in. z Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN w Krakowie, Akademickiego Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH czy Uniwersytetu Technicznego w Chemnitz.

#### **4. Uwagi szczegółowe oraz sugestie**

Recenzowana rozprawa doktorska została przygotowana poprawnie pod względem merytorycznym, jak już wcześniej stwierdzono w niniejszej recenzji. Jak to bywa w tego typu opracowaniach kilka kwestii budzi pewne zapytania oraz wymaga wyjaśnienia. Poniżej przedstawiam wybrane uwagi polemiczne oraz pytania:

- Technologia przygotowania stopów wstępnych, czyli wlewków badanych stopów aluminium została opisana bardzo zdawkowo w przeciwieństwie do metody otrzymywania taśm metodą odlewania na wirujący bęben miedziany (melt-spinning), proszę o podanie informacji jak przygotowywano wlewki stopów wstępnych w procesie przetapiania indukcyjnego.
- W tabeli 2 Doktorantka zamieściła parametry obróbki cieplnej stopów dwuskładnikowych odlanych w postaci taśm – na jakiej podstawie dobrano temperaturę oraz czas wygrzewania poszczególnych stopów? Czy obróbka cieplna jest konieczna, skoro powoduje rozpad fazy kwazikrystalicznej w analizowanych stopach dwuskładnikowych?

- Czy fazy międzymetaliczne o złożonej strukturze w badanych stopach aluminium występują już na etapie przygotowania stopu wstępnego (wlewka)? Czy proces odlewania z dużą szybkością chłodzenia jest niezbędny do uzyskania stopów o takiej strukturze?
- Doktorantka do testów katalitycznych użyła taśm w formie proszkowej uzyskanych w procesie mielenia w młynku wibracyjnym wyposażonym w pojemnik i mielniki z węgla wolframu, stąd pojawia się pytanie czy w procesie rozdrabniania taśm do próbek nie przedostały się zanieczyszczenia w postaci materiału mielników i pojemnika? Czy proces mielenia nie miał wpływu na strukturę badanych stopów?
- W dyskusji wyników Doktorantka podaje, że „dla wszystkich uzyskanych materiałów w jednym procesie odlewania otrzymane były taśmy o zmiennej grubości”, pojawia się więc pytanie jak to jest możliwe skoro w metodzie melt-spinning zastosowano stałą szybkość obrotową bębna miedzianego? Proszę o komentarz, tym bardziej, że w podsumowaniu Autorka stwierdza, że „uzyskany materiał miał formę kruchych płatków”.
- Na stronie 32. Doktorantka podaje, że „morfologia taśm uzależniona jest od przyjętych warunków procesu wytwarzania, składu stopu, a także wpływu czynników niekontrolowanych podczas odlewania”. O jakie czynniki niekontrolowane chodziło Autorce?
- Czy o wysokim stopniu konwersji w reakcjach katalitycznych decyduje tylko struktura i skład fazowy badanych stopów aluminium? Czy aktywność katalityczną nie zależy w dużej mierze od składu chemicznego stopów przewidzianych na katalizatory reakcji?
- O jaki potencjał aplikacyjny chodzi Doktorantce w przypadku właściwości katalitycznych rozpatrywanych stopów aluminium? Proszę o doprecyzowanie tej kwestii.

Autorka nie ustrzegła się drobnych usterek o charakterze redakcyjnym i językowym. Drobne usterki nie mają istotnego wpływu na ocenę końcową pracy doktorskiej. Mogę jednak wskazać kilka uwag, które w przyszłości pozwolą Autorce uniknąć niepotrzebnych uchybień redakcyjnych przygotowując publikacje lub inne opracowania naukowe:

- wykaz oznaczeń i skrótów (str. 5) jest dosyć syntetyczny i nie obejmuje wszystkich oznaczeń używanych w pracy doktorskiej przez Autorkę;
- rysunek 10 zawiera oznaczenia wybranych katalizatorów w języku angielskim;
- opis przekroju poprzecznego oraz powierzchni kontaktu taśmy z bębniem miedzianym nie jest do końca poprawny (rys. 13);
- oś x na rysunku 54a została opisana jako „odległość”, chodzi raczej o głębokość wnikania wiązki promieniowania rentgenowskiego;



- zgodnie z polskimi zwyczajami typograficznymi część dziesiętną oddziela się przecinkiem np.: 1,78897 Å; Al<sub>71,5</sub>Ni<sub>23,5</sub>Fe<sub>5</sub>;
- piki na przeglądowych widmach XPS zostały mało precyzyjnie oznaczone (rys. 55), czytelnik musi się w niektórych przypadkach domyślać od jakich pierwiastków pochodzą piki;
- niefortunne zdaniem recenzenta było umieszczenie Tabeli 3 w pozycji wertykalnej na osobnej stronie, przez to informacje w niej zawarte są mniej czytelne zaś powierzchnia strony wykorzystana tylko w niewielkim udziale;
- co to są ziarna komórkowe? prawdopodobnie Autorce chodziło o ziarna równoosiowe;
- co to jest „porcja katalizatora”? domyślam się, że chodzi raczej o udział lub ilość katalizatora.

## 5. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę, że Autorka recenzowanej rozprawy doktorskiej:

- osiągnęła cel badawczy, rozwiązała podjęte zadania badawcze oraz potwierdziła sformułowaną tezę,
- wykazała się dobrą znajomością metod badawczych stosowanych w zakresie inżynierii materiałów metalowych oraz umiejętnością zaprojektowania i przeprowadzenia eksperymentów wymaganych do scharakteryzowania struktury i właściwości wytworzonych niekonwencjonalnych stopów aluminium o złożonej strukturze,
- pozyskała umiejętności rozwiązywania problemów badawczych i odpowiedniego doboru metod badawczych oraz ich należytego opanowania praktycznego,
- osiągnęła wartościowe i oryginalne wyniki badań zwłaszcza w zakresie obrazów mikroskopowych i dyfrakcji elektronowych, a także wyników badań właściwości katalitycznych opracowanych stopów dwu- i trójskładnikowych na bazie aluminium,

**stwierdzam, że praca doktorska Pani mgr inż. Amelii Zięby pt. „*Mikrostruktura i właściwości katalityczne faz międzymetalicznych wytwarzanych metodą szybkiej krystalizacji*” jednoznacznie spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim na stopień doktora nauk inżynierijno-technicznych.**

**Wnioskuje o dopuszczenie pracy doktorskiej do publicznej obrony oraz procedowanie kolejnych etapów w zakresie ubiegania się przez Panią mgr inż. Amelię Ziębę o stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych przed Radą Naukową Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.**

Rafał Babilas