dr hab. inż. Mirosław Tupaj, prof. PRz
POLITECHNIKA RZESZOWSKA im. Ignacego Łukasiewicza
Wydział Mechaniczno-Technologiczny
Zakład Wytwarzania Komponentów i Organizacji Produkcji
ul. Kwiatkowskiego 4,
37-450 Stalowa Wola

Rzeszów, 17.01.2026 r.

Recenzja pracy doktorskiej

Aleksandry Pierwoły

pod tytułem **„Modelowanie numeryczne procesu krystalizacji podczas nieizotermicznego wygrzewania oraz analiza korozji amorficznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ o potencjalnym przeznaczeniu biomedycznym”**

przygotowanej pod kierunkiem:

dr hab. inż. Janusz Lelito, prof. AGH
(imię i nazwisko promotora)

Prof. Dr.-Ing. Michał Szucki
(imię i nazwisko promotora pomocniczego)

1. **Podstawa opracowania**

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Pismo nr RD IMat.510-290-325-2025 z dnia 17.11.2025 r. otrzymane od Pani Przewodniczącej prof. dr hab. inż. Agnieszki Kopii.

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.)

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa;
2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. **Charakterystyka i opis rozprawy**

I. Ocena wyboru tematu rozprawy

Dynamiczny rozwój implantologii oraz rosnące wymagania dotyczące bezpieczeństwa i funkcjonalności biomateriałów metalicznych uzasadniają intensyfikację badań nad materiałami biodegradowalnymi, które po spełnieniu swojej funkcji ulegałyby kontrolowanemu roztwarzaniu w organizmie człowieka. Stosowane obecnie materiały implantologiczne, takie jak stale austenityczne, stopy tytanu oraz stopy kobaltu, mimo bardzo dobrych właściwości mechanicznych i wysokiej odporności korozyjnej, nie wykazują zdolności do biodegradacji, co wiąże się z koniecznością ich chirurgicznego usuwania po zakończeniu procesu leczenia. W tym kontekście szczególne zainteresowanie budzą stopy magnezu, które charakteryzują się gęstością i modułem Younga zbliżonymi do ludzkiej kości oraz biokompatybilnością wynikającą z fizjologicznej roli magnezu w organizmie człowieka. Zasadniczym ograniczeniem ich zastosowania pozostaje jednak nadmierna i niekontrolowana korozja w środowisku płynów ustrojowych, prowadząca do przedwczesnej degradacji implantu oraz intensywnego wydzielania produktów reakcji korozyjnych.

Badania wykazują, że stopy o strukturze amorficznej, określane jako szkła metaliczne, wykazują potencjalnie wyższą odporność korozyjną w porównaniu ze stopami polikrystalicznymi, co wynika z braku granic ziaren i jednorodności struktury. Analiza stanu wiedzy wskazuje, że brak jest doniesień dotyczących amorficznych stopów Mg–Zn z dodatkiem platyny, w szczególności w aspekcie ich potencjalnych zastosowań biomedycznych. Platyna, jako pierwiastek uznawany za nietoksyczny, może wpływać na zdolność do zeszklenia oraz stabilność termiczną stopu, a także modyfikować jego zachowanie elektrochemiczne. Z tego względu podjęcie badań nad amorficznym stopem $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$, obejmujących analizę mechanizmów krystalizacji podczas nieizotermicznego wygrzewania oraz mechanizmów korozji w roztworze symulującym płyny ustrojowe człowieka, należy uznać za w pełni uzasadnione.

Podjęty problem badawczy ma charakter poznawczy i aplikacyjny, a jego realizacja przyczynia się do pogłębienia wiedzy w zakresie zależności struktura–właściwości–procesy w stopach magnezu o strukturze amorficznej. Zakres tematyczny oraz zastosowane metody badawcze w pełni wpisują się w dyscyplinę naukową inżynieria materiałowa i spełniają wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

II. Ogólna charakterystyka i ocena formalna pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska liczy 115 stron, na które składają się streszczenie w języku polskim i angielskim, wstęp, analiza literaturowa poruszająca trzy tematycznie powiązane z pracą zagadnienia, cele i tezy pracy, cztery rozdziały badań własnych, wnioski, spis literatury, spis rysunków oraz tabel. W pracy zamieszczono 16 tabel, 60 wzorów oraz 60 rysunków. Analiza literaturowa obejmuje 132 pozycje, z których aż 53 ukazało się w ostatniej dekadzie.

Praca rozpoczyna się streszczeniem w języku polskim i angielskim, w którym Autorka przedstawia cele pracy, zrealizowany zakres badań oraz najważniejsze wnioski

płynące z przeprowadzonych prac badawczych. Analizę piśmiennictwa rozpoczyna wstęp przybliżający czytelnika z problematyką rozprawy. Ostatni jego akapit można uznać za próbę podsumowania stanu zagadnienia oraz wyjaśnienia wyboru materiału badawczego, których nie zamieszczono w zakończeniu analizy piśmiennictwa. Następny rozdział (2) przeglądu literatury dotyczy charakterystyki szkieł metalicznych w zakresie struktury, zdolności do zeszklenia, klasyfikacji, właściwości, metod wytwarzania oraz zastosowania. Wnikliwą analizę poświęcono szkłom metalicznym na bazie magnezu w zakresie właściwości mechanicznych, wpływu składników stopowych na zdolność do zeszklenia i krystalizacji oraz odporności korozyjnej i cytotoksyczności szkieł metalicznych na bazie magnezu o przeznaczeniu biomedycznym. Kolejny rozdział (3) obejmuje krystalizację z uwzględnieniem dyfuzji, zarodkowania i wzrostu kryształów, charakterystyki wybranych metod analizy termicznej procesu krystalizacji oraz kinetycznych modeli krystalizacji. Ostatni rozdział (4) przeglądu piśmiennictwa dotyczy problematyki korozji stopów. Opisano mechanizmy korozji chemicznej i elektrochemicznej, scharakteryzowano rodzaje korozji oraz laboratoryjne metody badań korozji. Rozdział 5 to krótka informacja o wyborze materiału badawczego oraz przedstawione w punktach cele i tezy pracy. Jak wspomniano wcześniej, brakuje tutaj płynnego przejścia z analizy piśmiennictwa do części eksperymentalnej w postaci nawet krótkiego podsumowania stanu zagadnienia oraz wyjaśnienia czytelnikom podstawy wyboru materiału badawczego. Część teoretyczną przedstawiono na 56 stronach a przegląd literatury opracowano na podstawie 94 pozycji literaturowych. Uważam, że część teoretyczna zawiera starannie dobrane treści, precyzyjnie wprowadzając czytelnika w problematykę rozprawy.

W ramach części eksperymentalnej Autorka zawarła rozdział 6, opisujący metodykę badawczą, a w niej wytworzenie materiału badawczego w postaci krystalicznej i amorficznej, metodykę badań strukturalnych, z zastosowaniem wysokorozdzielczego, skaningowego mikroskopu elektronowego oraz dyfraktometru rentgenowskiego. Następnie przedstawiono metodykę analizy termicznej w trakcie wygrzewania izotermicznego oraz nieizotermicznego, z wykorzystaniem różnicowego kalorymetru skaningowego, wysokorozdzielczego, skaningowego mikroskopu elektronowego z komorą grzewczą oraz dyfraktometru rentgenowskiego z komorą grzewczą. Kolejno przedstawiono sposób przeprowadzania testów korozyjnych oraz badań elektro-chemicznych, tj. pomiar potencjału obwodu otwartego *OCP*, liniowa woltamperometria *LSV*, elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna *EIS*, opór polaryzacji liniowej *LPR*, amperometria przy zerowym oporze *ZRA*. Dalej sformułowano dwa matematyczne modele, z których jeden dotyczył krystalizacji w stopie amorficznym podczas nieizotermicznego wygrzewania, a drugi korozji galwanicznej zachodzącej pomiędzy stopem amorficznym i krystalicznym. Rozdział 7 zawiera opis wyników badań strukturalnych krystalicznego oraz amorficznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$, kinetyki krystalizacji stopu amorficznego podczas nieizotermicznego i izotermicznego wygrzewania, korozji amorficznego i krystalicznego stopu w warunkach symulujących płyny ustrojowe człowieka, tj. w roztworze Hanka w temperaturze 37°C.

W rozdziale 8 Doktorantka zaproponowała matematyczny model procesu krystalizacji podczas nieizotermicznego wygrzewania amorficznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$

wraz z jego numerycznym rozwiązaniem, z wykorzystaniem MRS i autorskiego programu w języku C^{++}. Przeprowadzono symulację numeryczną procesu krystalizacji celem ilościowego odtworzenia wzrostu ziaren w warunkach nieizotermicznego wygrzewania amorficznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$. Natomiast w rozdziale 9 Autorka dysertacji zaproponowała matematyczny model korozji galwanicznej pomiędzy amorficznym i krystalicznym stopem $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ wraz z jego numerycznym rozwiązaniem, z wykorzystaniem MES i programu *COMSOL Multiphysics 5.5*. Z kolei przeprowadzono symulację numeryczną procesu korozji galwanicznej zachodzącej pomiędzy amorficznym i krystalicznym stopem $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ w roztworze Hanka, odwzorowując rzeczywiste warunki z wcześniej przeprowadzonego eksperymentu.

W ramach badań własnych, Doktorantka zamieściła podsumowanie do każdego rozdziału zawierającego wyniki badań. Zasadniczą część pracy Autorka zakończyła sformułowaniem 13 wniosków, które są odpowiedzią na postawione tezy pracy. Część badawczą rozprawy, zawierającą szeroki zakres badań laboratoryjnych, z zastosowaniem odpowiednio dobranych nowoczesnych metod i technik badawczych, zaproponowany numeryczny model krystalizacji opracowany w oparciu o autorski program, zaproponowany numeryczny model korozji oraz analizę wyników, oceniam jako bardzo dobrą.

Rozprawa doktorska napisana jest poprawnie merytorycznie i zrozumiałym językiem, a zastosowana terminologia techniczna jest właściwa. Praca jest dobrze zredagowana i zawiera tylko nieliczne usterki edytorskie, nie wpływające na jej pozytywną ocenę. Podsumowując, opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne, zwyczajowo przyjęte dla tego typu prac naukowych.

III. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedmiotem dysertacji przedstawionej do recenzji było zrozumienie mechanizmów krystalizacji podczas nieizotermicznego wygrzewania dotąd w literaturze nie badanego szkła metalicznego na bazie Mg-Zn-Pt i jego korozji w roztworze symulującym płyny ustrojowe człowieka oraz podjęcie próby opracowania modeli matematycznych i numerycznych, opisujących procesy krystalizacji i korozji galwanicznej. Odporność korozyjna i badania elektrochemiczne prowadzone były w roztworze Hanka, symulującym płyny ustrojowe organizmu ludzkiego. Temperatura roztworu wynosiła 37°C ze względu na odtworzenie temperatury występującej wewnątrz organizmu ludzkiego. Badania prowadzone były na próbkach ze stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ o strukturze krystalicznej oraz o strukturze amorficznej (taśmy), którą uzyskano przy zastosowaniu metody melt-spinning. Bazując na uzyskanych danych eksperymentalnych opracowano modele matematyczne i numeryczne, opisujące procesy krystalizacji i korozji galwanicznej.

Autorka dysertacji sformułowała cztery tezy pracy. W tezie pierwszej założono, że dodatek 1 at.% platyny do stopu Mg-Zn ułatwia proces zeszklenia i poprawia czasową stabilność termiczną szkła metalicznego ze względu na różnicę w wielkości atomu platyny w stosunku do magnezu i cynku. W tezie drugiej Autorka założyła, że amorficzny stop $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ ma zdecydowanie lepszą odporność korozyjną niż polikrystaliczny stop $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$. Teza trzecia zakłada, że możliwe jest opisanie procesu krystalizacji

w amorficznym stopie $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ podczas nieizotermicznego wygrzewania za pomocą modelu matematycznego i jego numeryczne rozwiązanie. W tezie czwartej Autorka zakłada, że możliwe jest opisanie procesu korozji galwanicznej pomiędzy fazą amorficzną i krystaliczną stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ za pomocą modelu matematycznego i jego numeryczne rozwiązanie.

Uważam, że wyznaczone cele pracy są logiczne i spójne i obejmują zarówno eksperyment jak i modelowanie. Jeśli chodzi o tezy pracy, to generalnie zostały one sformułowane poprawnie i dobrze wskazują obszar badawczy do udowodnienia.

Dla udowodnienia postawionych tez oraz realizacji celów pracy, Doktorantka zrealizowała szeroki zakres prac badawczych o charakterze interdyscyplinarnym, obejmujących:

1. Opracowanie i wytworzenie stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ o strukturze krystalicznej i amorficznej (taśmy), którą uzyskano przy zastosowaniu metody melt-spinning, opartej na technice odlewania cienkich taśm na obracającym się z dużą szybkością miedzianym bębnie.

2. Badania mikroskopowe z zastosowaniem wysokorozdzielczego, skaningowego mikroskopu elektronowego *JEOL JSM-7600F z emisją polową i detektorami LABE*, *EBSD wraz analizatorem EDS do mikroanalizy składu chemicznego* oraz badania dotyczące identyfikacji składników mikrostruktury z zastosowaniem dyfraktometru rentgenowskiego *Bruker D8-A25-Advance*. Badania te wykonano dla opracowanego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ o strukturze krystalicznej i amorficznej oraz stopu o strukturze amorficznej, wygrzewanego w warunkach nieizotermicznych oraz izotermicznych oraz dla tego stopu po badaniach korozyjnych.

3. Analizę termiczną z wykorzystaniem różnicowego kalorymetry skaningowego *TA DSC Q20*, wykonaną dla stopu o strukturze amorficznej, wygrzewanego w warunkach nieizotermicznych oraz izotermicznych.

4. Prowadzone w czasie rzeczywistym badania mikroskopowe stopu amorficznego w trakcie jego wygrzewania w warunkach izotermicznych oraz nieizotermicznych w komorze grzewczej wysokorozdzielczego, skaningowego mikroskopu elektronowego oraz badania dotyczące identyfikacji składników mikrostruktury w trakcie wygrzewania stopu amorficznego w warunkach nieizotermicznych, z wykorzystaniem wysokotemperaturowego dyfraktometru rentgenowskiego *Panalytical Empyrean, Almelo,* wyposażonego w komorę do wygrzewania *Anton Paat HTK 1200N.*

5. Szerokie spektrum badań korozyjnych z zastosowaniem technik elektrochemicznych, tj. pomiar potencjału obwodu otwartego *OCP*, liniowa woltamperometria *LSV*, elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna *EIS*, opór polaryzacji liniowej *LPR*, amperometria przy zerowym oporze *ZRA*. Odporność korozyjną amorficznego i krystalicznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ badano w warunkach symulujących płyny ustrojowe człowieka, tj. w roztworze Hanka w temperaturze 37°C.

6. Opracowanie modelu matematycznego procesu krystalizacji podczas nieizotermicznego wygrzewania amorficznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$. W tym celu opracowano

i zastosowano autorski program w języku C^{++}. Przeprowadzono symulację numeryczną i jej weryfikację z badaniami eksperymentalnymi.

7. Opracowanie modelu matematycznego korozji galwanicznej pomiędzy amorficznym i krystalicznym stopem $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ w roztworze Hanka, odwzorowując rzeczywiste warunki z wcześniej przeprowadzonego eksperymentu wraz z jego numerycznym rozwiązaniem. W tym celu zastosowano oprogramowanie *COMSOL Multiphysics 5.5*, umożliwiające rozwiązywanie układów nieliniowych równań różniczkowych cząstkowych metodą MES.

Badania wykazały, że dodatek platyny podnosi temperaturę początku krystalizacji oraz wyraźnie zwiększa zdolność do zeszklenia i stabilność termiczną w porównaniu ze stopem dwuskładnikowym. Stwierdzono, że proces krystalizacji w amorficznym stopie $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ zachodzi spontanicznie, gdzie dyfuzja jest głównym czynnikiem kontrolującym tę przemianę, ale dynamika procesu silnie zależy także od szybkości nagrzewania.

Na podstawie wyników badań elektrochemicznych Autorka zauważyła, że amorficzny stop $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ wykazuje lepszą odporność na korozję w środowisku symulującym płyny ustrojowe człowieka niż jego krystaliczny odpowiednik. Proces roztwarzania amorficznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ w środowisku symulującym płyny ustrojowe człowieka zachodzi dwuetapowo i mniej gwałtownie, niż w stopie krystalicznym. Natomiast w warunkach korozji galwanicznej degradacji ulega wyłącznie faza krystaliczna, a stop amorficzny pełni rolę katody i pozostaje nienaruszony.

Szeroki zakres badań wykonany w pracy doktorskiej świadczy o dobrym rozeznaniu Autorki dysertacji w najnowszych trendach badawczych i tematyce dotyczącej metalicznych materiałów biodegradowalnych oraz metodyce ich badań. Należy podkreślić, że badania eksperymentalne zostały starannie zaplanowane oraz wykonane, a wyniki badań zostały przedstawione w sposób systematyczny, świadczący o konsekwencji w prowadzeniu badań oraz umiejętności planowania eksperymentów, celem rozwiązania pojawiających się problemów naukowych. Analiza otrzymanych wyników badań laboratoryjnych, poprzedzona analizą teoretyczną oraz poparta badaniami modelowymi w zakresie krystalizacji i korozji galwanicznej, pozwoliła Doktorantce na sformułowanie 13 wniosków. Opracowane wnioski są trafne i wynikają z uzyskanych wyników badań. Świadczą również o szerokiej wiedzy teoretycznej oraz praktycznej Autorki z zakresu inżynierii materiałowej w obszarze biodegradowalnych implantów magnezowych oraz potwierdzają słuszność założonych tez.

Do najważniejszych osiągnięć pracy, świadczących o wyraźnym wkładzie naukowym Doktorantki w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa, należy uznać:

1. opracowanie i wykonanie biodegradowalnego stopu Mg-Zn-Pt o strukturze krystalicznej oraz amorficznej,
2. identyfikację i opis mechanizmów krystalizacji amorficznego stopu Mg–Zn–Pt podczas nieizotermicznego wygrzewania,

3. interpretację zjawisk korozyjnych w układzie amorficzno-krystalicznym stopu Mg–Zn–Pt,
4. wykazanie różnic w zachowaniu korozyjnym struktury amorficznej i krystalicznej stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$,
5. opracowanie autorskich modeli numerycznych symulujących proces krystalizacji podczas nieizotermicznego wygrzewania amorficznego stopu Mg-Zn-Pt oraz proces korozji galwanicznej w roztworze Hanka oraz ich weryfikację z badaniami eksperymentalnymi.

Sposób realizacji założonych celów pracy, zastosowane metody badawcze, sposób realizacji wieloetapowych badań eksperymentalnych oraz sposób opracowywania modeli matematycznych i numerycznych oceniam pozytywnie. Autorka jest bardzo dobrze zorientowana w poruszanej problematyce dotyczącej biodegradowalnych implantów na bazie magnezu. Rozprawa doktorska ma znaczenie naukowe w zakresie rozszerzenia wiedzy dotyczącej biodegradowalnych implantów na bazie magnezu o strukturze amorficznej.

Dokonując podsumowania merytorycznej strony opiniowanej rozprawy stwierdzam, że jej osiągnięciem naukowym jest rozszerzenie wiedzy w zakresie poznawania roli platyny jako nowego pierwiastka stopowego w biomateriałach na bazie magnezu i cynku oraz wpływu postaci krystalicznej i amorficznej stopu Mg-Zn-Pt na odporność korozyjną w warunkach symulujących płyny ustrojowe organizmu ludzkiego.

IV. Uwagi szczegółowe i pytania

Recenzowana rozprawa doktorska została przygotowana poprawnie pod względem formalnym oraz merytorycznym. Poniżej przedstawiam uwagi i sugestie do uwzględnienia przy kolejnych opracowaniach oraz pytania do Autorki dysertacji.

1. Uwaga do pracy. Str. 18. Autorka pisze: *„Z uwagi na dobrą odporność ścierną …*". Poprawne sformułowanie to *„odporność na zużycie ścierne*".
2. Uwaga do pracy. Dwa różne wzory na str. 34 oraz 41 mają przypisany ten sam numer – 12.
3. Uwaga do pracy. W przypadku głównych celów pracy nr 2 i 4 (str. 56), Autorka rozpoczyna ich formułowanie od słowa *„Utworzenie modelu….".* Co prawda jest ono poprawne, jednak sugerowałbym użycie słowa *„opracowanie*", które wydaje się być wyraziste i lepiej odzwierciedlające nakład pracy.
4. Uwaga do pracy. Str. 56. Teza nr 2. Autorka pisze: Amorficzny stop $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ ma *zdecydowanie lepszą* odporność korozyjną niż polikrystaliczny stop $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$. Określenie *„zdecydowanie lepszą*" jest bardziej publicystyczne niż naukowe. Poza tym jest to w zasadzie hipoteza.

5. Uwaga do pracy. Str. 73. *Rys. 45. Mikrostruktura amorficznego $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ po obróbce cieplnej w HT-SEM zgodnie ze schematem a-b) z rys. 32b i c) z rys. 32c*. Powinno być … *z rys. 33b i c) z rys. 33c*.

6. Uwaga do pracy. Autorka podaje w tekście oraz na wykresach temperaturę w stopniach Celsjusza lub w Kelvinach. W niektórych przypadkach utrudnia to analizę. Dobrze by było zachować konsekwencję i podawać temperaturę w jednej skali.

7. Uwaga do pracy. Str. 90. Autorka pisze: ….*gdzie D oznacza współczynnik dyfuzji, wg. % to procent wagowy składnika*" – poprawne określenie to procent masowy. Waga jest urządzeniem służącym do pomiaru masy.

8. Pytanie do Autorki. Str. 57. Podrozdział 6.1. Wytworzenie badanego materiału. Brak jest opisu dotyczącego uzyskania stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ w postaci krystalicznej. Jak wyglądał proces wykonania próbek o strukturze krystalicznej? Jaka była temperatura zalewania, materiał formy, wymiary próbek itp.?

9. Pytanie do Autorki. Str. 57. Podrozdział 6.1. Autorka pisze o znikomych zanieczyszczeniach mogących pojawić się w magnezie, cynku i platynie i podaje wartości w ppm. Czy są to graniczne wartości podane przez producentów materiałów? Czy materiały wsadowe badano na obecność zanieczyszczeń? Czy taka ilość zanieczyszczeń może wpłynąć na proces otrzymywania stopu o strukturze amorficznej? Czy zdaniem Autorki zanieczyszczenia będą miały wpływ na zmniejszenie odporności korozyjnej stopu o strukturze amorficznej?

10. Pytanie do Autorki. Str. 57. Podrozdział 6.2. Autorka pisze: *Do potwierdzenia amorficznej struktury otrzymanych taśm wykorzystano dyfrakcję rentgenowską … a otrzymane widma analizowano przy użyciu pakietu oprogramowania Topas i metody Rietvelda ….* Na czym polegała analiza Rietvelda dla stopu o strukturze amorficznej?

11. Pytanie do Autorki. Str. 58. Podrozdział 6.3. Autorka pisze: Wygrzewanie izotermiczne w różnicowym kalorymetrze skaningowym prowadzono do temperatury 128°C, natomiast wygrzewanie nieizotermiczne oraz izotermiczne w komorze grzewczej mikroskopu skaningowego prowadzono do temperatury 125°C. Skąd te różnice w temperaturze i dlaczego Autorka przyjęła takie wartości temperatury? Czy w obu przypadkach ma to związek z zakresem temperatura zeszklenia T_g - początek krystalizacji T_x?

12. Pytanie do Autorki. W zakończeniu części teoretycznej nie zawarto podsumowania stanu zagadnienia oraz wyjaśnienia czytelnikom podstawy wyboru materiału badawczego. W związku z tym proszę wyjaśnić, co zdecydowało o wyborze platyny jako dodatku stopowego do stopu na bazie magnezu i cynku i dlaczego 1 at.%? Czy były prowadzone wstępne badania z inną zawartością platyny niż 1 at.%? Czy prowadzono badania z innymi pierwiastkami szlachetnymi jako dodatkami stopowymi do stopu na bazie Mg i Zn?

V. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Pierwoły spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim:

- Autorka posiada wiedzę z zakresu przedmiotu pracy i umiejętności planowania oraz samodzielnego prowadzenia wieloetapowych badań eksperymentalnych,
- w oparciu o analizę piśmiennictwa sformułowano tezy pracy, które udowodniono poprzez prawidłowo zrealizowane badania,
- dokonano właściwego doboru technik badawczych,
- dokonano właściwej interpretacji i analizy wyników badań i na ich podstawie prawidłowo sformułowano wnioski,
- rozwiązano problem naukowy o ważnym znaczeniu w obszarze biomateriałów w zakresie modelowania procesu krystalizacji oraz korozji galwanicznej stopu Mg-Zn-Pt,
- połączenie zagadnień struktury amorficznej, stabilności termicznej, mechanizmów krystalizacji oraz odporności korozyjnej wpisuje się bezpośrednio w zakres dyscypliny inżynieria materiałowa,
- podjęta problematyka badawcza jest aktualna, oryginalna i wypełnia lukę badawczą (stopy amorficzne Mg–Zn–Pt nie były dotychczas badane),
- rozprawa doktorska stanowi oryginalne opracowanie zagadnienia mającego znaczenie naukowe i potencjał aplikacyjny w biomedycynie.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Aleksandry Pierwoły pt. „Modelowanie numeryczne procesu krystalizacji podczas nieizotermicznego wygrzewania oraz analiza korozji amorficznego stopu $Mg_{72}Zn_{27}Pt_1$ o potencjalnym przeznaczeniu biomedycznym" spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Ponadto, ze względu na bardzo dużą wartość i szeroki zakres zrealizowanych eksperymentów, aktualną i oryginalną tematykę o potencjale aplikacyjnym oraz wysoki poziom merytoryczny opracowania naukowego, skłania mnie do wnioskowania o wyróżnienie tej pracy doktorskiej. Tym samym wnioskuję o uznanie rozprawy doktorskiej pani Aleksandry Pierwoły za wyróżniającą się.

……
(podpis recenzenta)