

Prof. dr hab. inż. Jerzy Wysłocki

Katedra Fizyki

Wydział Inżynierii Produkcji
i Technologii Materiałów

Politechnika Częstochowska

Al. Armii Krajowej 19

42-200 Częstochowa

tel.: (34) 325-06-18; (34) 325-07-95

e-mail: jerzy.wyslocki@pcz.pl

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Tymona Warskiego na temat:

**„Wpływ dodatków stopowych na właściwości magnetyczne,
katalityczne oraz strukturę krystaliczną wysokoindukcyjnych
materiałów magnetycznie miękkich na bazie żelaza”**

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Adama Grajcara (z dnia 31.10.2025 r.), informującego o powołaniu na recenzenta pracy doktorskiej uchwałą RD z dnia 28 października 2025 r.

1. Podstawowe informacje

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Tymona Warskiego zatytułowana: „Wpływ dodatków stopowych na właściwości magnetyczne, katalityczne oraz strukturę krystaliczną wysokoindukcyjnych materiałów magnetycznie miękkich na bazie żelaza” została wykonana pod promotorską opieką Pana dr hab. Łukasza Hawelka oraz Pana dr inż. Marcina Polaka, jako opiekuna pomocniczego z Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach.

Recenzowana rozprawa doktorska ma formę zbioru 8 oryginalnych, powiązanych tematycznie artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych, co stanowi zadość warunkom określonym w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20.07.2018 r. (j.t. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571), która w Art. 187, pkt 3 określa, że: „Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym (...) zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych”. Ponadto należy podkreślić następujące fakty dotyczące recenzowanej pracy, które uważam mają istotny wpływ na jej realizację i końcowy kształt, a mianowicie: (i) prace badawcze, będące podstawą publikacji tego zbioru, zostały zrealizowane w ramach projektu OPUS 14 (grant nr 2017/27/B/ST8/01601, którego kierownikiem był promotor dr hab. Łukasz Hawelek) pt. „Nowej generacji wysokoindukcyjne nanokrystaliczne materiały

Biurowo Dziekana

wpłynęło dnia 03.01.2026
RDJMa 512.35.2026
nr zał.

magnetycznie miękkie” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki; (ii) praca doktorska została zrealizowana w ramach IV edycji Programu „Doktorat Wdrożeniowy” nr DWD/4/21/2020-70/003, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego; (iii) część realizowanych badań była współfinansowana ze środków subwencyjnych podmiotu zatrudniającego Doktoranta, a więc Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych.

Wyniki badań i ich analiza, które złożyły się na pracę doktorską mgr inż. Tymona Warskiego i są podstawą oceny, zostały przedstawione w zbiorze poniżej wymienionych 8 publikacji naukowych opublikowanych w latach 2020-2025:

- [1] **Warski T.**, Włodarczyk P., Polak M., Zackiewicz P., Radoń A., Wójcik A., Szlezynger M., Kolano-Burian A., Hawelek Ł.: „Influence of Cu Content on Structure and Magnetic Properties in $\text{Fe}_{86-x}\text{Cu}_x\text{B}_{14}$ Alloys”; *Materials* 2020; 13(6):1451; DOI:10.3390/ma13061451.
- [2] Hawelek Ł., **Warski T.**, Włodarczyk P., Polak M., Zackiewicz P., Radoń A., Wójcik A., Kolano-Burian A.: „Effect of Co Substitution on Crystallization and Magnetic Behavior of $\text{Fe}_{85.45-x}\text{Co}_x\text{Cu}_{0.55}\text{B}_{14}$ Metallic Glass”; *Materials* 2020; 13(4):919; DOI: 10.3390/ma13040919.
- [3] Hawelek Ł., Zackiewicz P., Kądziołka-Gawel M., Wójcik A., Maziarz W., Chulist R., Fábíán M., **Warski T.**: „Structure and magnetic properties of vacuum- and air-annealed rapidly quenched Mo- and Co-modified $\text{Fe}_{85.3}\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ alloy”; *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2025, 25: 188. DOI: 10.1007/s43452-025-01238-y.
- [4] Hawelek Ł., **Warski T.**, Zackiewicz P., Hudecki J., Kolano-Burian A.: „Magnetic properties evolution and crystallization behaviour of vacuum- and air-long-term-annealed rapidly quenched $\text{Fe}_{80.3}\text{Co}_5\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ alloy”; *Scientific Report* 2022; 12, 21387; DOI:10.1038/s41598-022-25925-5.
- [5] **Warski T.**, Gutiérrez J., Orue I., Zackiewicz P., Łoński W., Babilas R., Kolano-Burian A., Hawelek Ł.: „Effect of minor Cr addition on the crystallisation process, magnetic, electrochemical and catalytical properties of high induction $\text{Fe}_{86}\text{B}_{14}$ alloy”; *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 2025; 202, 112687; DOI: 10.1016/j.jpcs.2025.112687.
- [6] Hawelek Ł., **Warski T.**, Radon A., Pilśniak A., Maziarz W., Szlezynger M., Kadziolka-Gawel M., Kolano-Burian A.: „Structure and Magnetic Properties of Thermodynamically Predicted Rapidly Quenched $\text{Fe}_{85-x}\text{Cu}_x\text{B}_{15}$ Alloys”; *Materials* 2021; 14(24):7807; DOI:10.3390/ma14247807.
- [7] **Warski T.**, Pilśniak A., Wójcik A., Szlezynger M., Dadiel J.L., Kolano-Burian A., Hawelek Ł.: „Annealing Optimization of High Induction (> 1.7 T) $\text{Fe}_{85-(x-y)}\text{Co}_x\text{Cu}_y\text{B}_{15}$ Alloys With Enhanced Magnetic Properties”; *Metallurgical and Materials Transactions A* 2024; 55A, 1174–1182. DOI: 10.1007/s11661-024-07313-y.
- [8] Hawelek Ł., Zackiewicz P., Wójcik A., Hudecki J., **Warski T.**: „Influence of Nb and Mo Substitution on the Structure and Magnetic Properties of a Rapidly Quenched $\text{Fe}_{79.4}\text{Co}_5\text{Cu}_{0.6}\text{B}_{15}$ Alloy”; *Materials* 2023; 16(18):6288. DOI: 10.3390/ma16186288.

Sumaryczny współczynnik Impact Factor (IF) za 2024 rok dla wymienionych publikacji wynosi 28,5, Cite Score za 2024 rok wynosi 53,6, natomiast liczba punktów MNiSW równa jest 1110. Wymaga również podkreślenia faktu, że aplikacyjnym efektem tych prac są cztery patenty:

1. Pat.246117 pt. „Sposób wytwarzania materiału kompozytowego warstwowego magnetycznie miękkiego o osnowie izolacyjnej”; twórcy: Przemysław Zackiewicz, Aleksandra Kolano-Burian, Łukasz Hawełek, **Tymon Warski**, Marcin Polak; data udzielenia prawa: 16.09.2024.
2. Pat.245562 pt. „Kompozyt magnetycznie miękki do zastosowań na dławiki kompensacyjne”; twórcy: Łukasz Hawełek, **Tymon Warski**, Marcin Polak, Przemysław Zackiewicz, Adam Pilśniak, Aleksandra Kolano-Burian; data udzielenia prawa: 11.06.2024.
3. Pat.245484 pt. „Sposób wytwarzania wysokoindukcyjnego metalicznego kompozytu magnetycznie miękkiego o podwyższonej odporności na utlenianie”; twórcy: Łukasz Hawełek, Marcin Polak, Adrian Radoń, **Tymon Warski**, Przemysław Zackiewicz, Magdalena Steczkowska-Kempka, Aleksandra Kolano-Burian; data udzielenia prawa: 22.05.2024.
4. Pat.242686 pt. „Sposób wytwarzania kompozytu do druku 3D o wypełnieniu z proszku magnetycznie miękkiego i osnowie mieszaniny polimerów termoplastycznych”; twórcy: Łukasz Hawełek, Marcin Polak, Adrian Radoń, **Tymon Warski**, Przemysław Zackiewicz, Magdalena Steczkowska-Kempka, Aleksandra Kolano-Burian; data udzielenia prawa: 17.01.2023.

2. Wybór tematyki pracy

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Tymona Warskiego tematycznie dotyczy wytwarzania wysokoindukcyjnych ($> 1,5$ T) amorficznych i nanokrystalicznych materiałów magnetycznie miękkich z grupy Fe-M-B ($\text{Fe}_{86-x}\text{M}_x\text{B}_{14}$ oraz $\text{Fe}_{85-x}\text{M}_x\text{B}_{15}$) w postaci taśm metalicznych oraz określenie związków pomiędzy wpływem wybranych dodatków stopowych ($\text{M} = \text{Cu}, \text{Co}, \text{Mo}, \text{Nb}, \text{Cr}$) i obróbki cieplnej, a parametrami termodynamicznymi, procesem krystalizacji, strukturą krystaliczną oraz wybranymi właściwościami magnetycznymi, elektrochemicznymi oraz katalitycznymi.

Wybór tej tematyki pracy doktorskiej należy uznać za właściwy, biorąc pod uwagę zarówno jej ważność jak i aktualność. Zakres recenzowanej pracy także doskonale wpisuje się w obserwowane w ostatnich latach kierunki badań światowych, zmierzające do poszukiwań nowych materiałów magnetycznie miękkich z małą zawartością dodatków stopowych. Trzeba przyznać, że tematyka ta, ze względu na swą atrakcyjność realizowana jest w wielu światowych laboratoriach. W tej tematyce posiada także duże doświadczenie i dorobek, będący podstawą niepodważalnego autorytetu naukowego, zespół pracowników Centrum Materiałów Funkcjonalnych Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach, kierowany przez prof. dr hab. Aleksandrę Kolano-Burian, a którego częścią są promotor tego przewodu dr hab. Łukasz Hawełek – Lider Grupy Badawczej Amorficznych i Nanokrystalicznych Materiałów Magnetycznie Miękkich oraz promotor pomocniczy dr inż. Marcin Polak – kierownik Pracowni Technologii Wytwarzania Materiałów Funkcjonalnych.

Ponadto, dokonując przeglądu literatury przedmiotu stwierdzam, że recenzowana praca zawiera nie tylko elementy nowości naukowej ale i oryginalności.

2. Opinia merytoryczna

Swoją opinię rozpocznę od przytoczenia współczynników bibliometrycznych publikacji składających się na rozprawę doktorską mgr inż. Tymona Warskiego, stosując numerację podaną w poprzedniej części recenzji: [1] IF=3,2; lista ministerialna 140 pkt.; [2] IF=3,2; 140 pkt.; [3] IF=4,4; 140 pkt.; [4] IF=3,9; 140 pkt.; [5] IF=4,9; 70 pkt.; [6] IF=3,2; 140 pkt.; [7] IF=2,5; 200 pkt.; [8] IF=3,2; 140 pkt.

Celowo przytoczyłem wartości współczynników oddziaływania (Impact Factor, IF) i punktację ministerialną tych publikacji aby pokazać, że należą one do wysoko punktowanych publikacji (jedynie poza [5] mającą przyznane 70 pkt ale z kolei o najwyższym IF=4,9), co świadczy o ich wysokiej renomie i rozpoznawalności w międzynarodowym środowisku naukowym. Opublikowanie tych artykułów w czasopismach oznacza, że zostały już one poddane ocenie eksperckiej przez recenzentów i uzyskały pozytywną ocenę oraz spełniły wymagania stawiane przez edytorów tych wydawnictw.

Rozprawa doktorska mgr inż. Tymona Warskiego została przedstawiona w formie opracowania-przewodnika, na który składają się następujące części: 1. Wstęp; 2. Cele i zakres pracy; 3. Teza badawcza; 4. Stopy wysokoindukcyjne na bazie żelaza; 5. Omówienie wyników badań; 6. Podsumowanie; 7. Bibliografia; 8. Streszczenie; 9. Abstract (streszczenie w języku angielskim). Jak na przewodnik do cyklu publikacji będących podstawą pracy doktorskiej jest to bardzo obszerne opracowanie, liczące 122 strony, a więc dorównujące nie tylko obszernością ale przede wszystkim układem i merytoryczną zawartością, nazwijmy to, klasycznym rozprawom doktorskim, pisanym w formie monografii. Opracowanie to uzupełniają następujące rozdziały: 10. Pełne teksty publikacji cyklu (90 stron); 11. Oświadczenia współautorów; 12. Dorobek naukowy.

Już w tym miejscu chciałbym podkreślić wzorowe, a właściwie wzorcowe przygotowanie opracowania-przewodnika, mogącego w prezentowanej formie być traktowanym jak monografia (dysertacja) doktorska. Celowo przytoczyłem wcześniej tytuły rozdziałów ocenianego opracowania-przewodnika aby pokazać, że opracowanie to posiada dobrze wyeksponowany cel i zakres pracy, tezę badawczą, część przeglądu stanu wiedzy związanej z tematem pracy a także omówienie otrzymanych wyników badań oraz podsumowanie omawiające najważniejsze wyniki. Część dotycząca przeglądu stanu wiedzy obejmuje charakterystykę amorficznych i nanokrystalicznych stopów wysokoindukcyjnych na bazie żelaza, szczególnie poświęcając uwagę na zależności pomiędzy składem chemicznym, strukturą krystaliczną a właściwościami tych stopów. Omówiono rolę składu chemicznego

i wpływ poszczególnych dodatków stopowych na proces krystalizacji oraz właściwości fizykochemiczne materiałów a także przedstawiono proces wytwarzania materiałów o strukturze amorficznej oraz dalszą ich obróbkę cieplną, podkreślając rolę mikrostruktury w końcowych właściwościach materiału. Przedstawiono także metody charakterystyki amorficznych i nanokrystalicznych materiałów magnetycznie miękkich na bazie Fe, koncentrując się przede wszystkim na metodach wykorzystanych w publikacjach stanowiących podstawę pracy doktorskiej mgr inż. Tymona Warskiego.

To omówienie stanu wiedzy napisane jest w sposób zwarty, syntetyczny ale klarowny, w niezbędnej objętości (40 stron) dla zrozumienia wyników przedstawionych w publikacjach doktorskiego cyklu. Przedstawiony opis jest prawidłowy, stosowane jest poprawne słownictwo a użyty język powoduje, że tekst jest zrozumiały. Na podkreślenie zasługuje bardzo bogata cytowana literatura, która obejmuje 225 pozycji, świadcząca o dobrym rozeznaniu Doktoranta w dyskutowanej tematyce. **Dlatego, biorąc pod uwagę powyższe fakty, uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr inż. Tymona Warskiego w dyscyplinie, w której ubiega się o nadanie stopnia, tj. inżynieria materiałowa.**

Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej są wieloautorskie, od 5 do 9 współautorów (dwie prace z 5 współautorami, jedna praca z 7 współautorami, 4 prace z 8 współautorami i jedna z 9 współautorami). Nie czynię z tego faktu zarzutu, a wręcz przeciwnie, poczytuję to za atut Doktoranta, który w ten sposób dowiódł, że posiada umiejętność nawiązywania współpracy naukowej i jej realizowania w szerokich zespołach badawczych, składających się z pracowników z wiodących jednostek w kraju i za granicą, nie ograniczając się tylko do macierzystej jednostki. W trzech pracach mgr inż. Tymon Warski jest pierwszym autorem, w kolejnych trzech drugim autorem (za promotorem swojej pracy dr hab. Łukaszem Hawełkiem), co potwierdza istotny wkład pracy zarówno w formułowanie koncepcji pracy, prowadzenie badań, analizę wyników jak i przygotowywanie rękopisu. Kolejnym dowodem potwierdzającym istotny wkład pracy Doktoranta w powstanie prezentowanych artykułów są oświadczenia wszystkich współautorów. Mgr inż. Tymon Warski w 6 pracach swój wkład ocenia na 50%-55% a w dwóch na 45%, co jest zgodne z oświadczeniami pozostałych współautorów. Po zapoznaniu się z oświadczeniem Doktoranta, wg którego jego wkład w powstanie większości prac polegał na współudziale w opracowaniu planu badań, współudziale w wytwarzaniu materiałów w postaci taśm i przeprowadzeniu ich obróbki cieplnej, przeprowadzeniu badań procesu krystalizacji, wyznaczeniu parametrów kinetyki

krystalizacji, przeprowadzeniu badań właściwości magnetycznych (magnetostrykcja, temperatura Curie), przeprowadzeniu badań właściwości katalitycznych, analizie i dyskusji wyników badań (analiza termiczna, XRD, TEM, właściwości magnetyczne, właściwości elektrochemiczne, właściwości katalityczne), napisaniu pierwotnej wersji oraz późniejszej korekty manuskryptów, uważam, że rola mgr inż. Tymona Warskiego w powstaniu tych publikacji została rzetelnie oceniona przez Doktoranta i była wiodąca. Dodatkowym faktem potwierdzającym dla mnie dominujący wkład Doktoranta w powstanie publikacji jest to, że w 3 publikacjach jest autorem korespondencyjnym.

Mgr inż. Tymon Warski w osobnym rozdziale „2. Cele i zakres pracy” określił w sposób jasny i przejrzysty główny cel pracy jako „opracowanie technologii wytwarzania wysokoindukcyjnych ($> 1,5$ T) amorficznych i nanokrystalicznych materiałów magnetycznie miękkich z grupy Fe-M-B w postaci taśm metalicznych oraz wyznaczenie korelacji pomiędzy wpływem wybranych dodatków stopowych ($M = \text{Cu}, \text{Co}, \text{Mo}, \text{Nb}, \text{Cr}$) i obróbki cieplnej, a parametrami termodynamicznymi, procesem krystalizacji, strukturą krystaliczną oraz wybranymi właściwościami magnetycznymi, elektrochemicznymi oraz katalitycznymi”. Dla zrealizowania tego celu Doktorant określił 5 celów szczegółowych, które świadczą o dobrym przygotowaniu teoretycznym w zakresie inżynierii materiałowej, szerokim rozeznaniu w tematyce badań, a także umiejętności planowania eksperymentu.

Jeszcze jeden fakt świadczy o dużej dojrzałości badawczej mgr inż. Tymona Warskiego i dobrym przygotowaniu merytorycznym: sformułowanie tezy badawczej, która brzmi następująco: „Właściwości fizykochemiczne (stabilność termiczna, indukcja nasycenia, koercja, straty mocy w rdzeniu, wartość zespolonej przenikalności magnetycznej, odporność korozyjna, aktywność katalityczna) stopów na bazie Fe-B w postaci taśm zależą głównie od ich składu chemicznego oraz struktury krystalicznej. Obecność dodatków stopowych ($\text{Cu}, \text{Co}, \text{Nb}, \text{Mo}, \text{Cr}$) oraz proces obróbki cieplnej umożliwia sterowanie tymi właściwościami pod określoną aplikację”.

Takie sformułowanie tezy badawczej pozwala na spojrzenie na 8 indywidualnych prac jak na spójny tematycznie, przemyślany cykl publikacji tworzący uzupełniającą się całość. Moją opinię potwierdza również fakt, że przedstawione 8 publikacji stanowi odpowiedź na szczegółowe pytania sformułowane przez Doktoranta w celu potwierdzenia postawionej tezy badawczej. Jest to z jednej strony interesujący sposób udowodnienia postawionej tezy, a z drugiej, bardzo przejrzysty i jasno sformułowany plan badawczy.

W cyklu ośmiu prac opublikowanych w ramach doktoratu przygotowano w sumie 31 materiałów amorficznych w postaci taśm Fe-M-B metodą „melt-spinning” o różnych składach chemicznych (gdzie M=Cu, Co, Nb, Mo, Cr) dla dwu składów bazowych: $\text{Fe}_{86-x}\text{M}_x\text{B}_{14}$ oraz $\text{Fe}_{85-x}\text{M}_x\text{B}_{15}$. W ten sposób określono wpływ dodatku stopowego dla następujących grup materiałów: Cu dla $\text{Fe}_{86-x}\text{Cu}_x\text{B}_{14}$ ($x=0, 0,4, 0,55, 0,7, 1$) oraz $\text{Fe}_{85-x}\text{Cu}_x\text{B}_{15}$ ($x=0, 0,6, 1,2, 1,5$), Co dla $\text{Fe}_{85,45}\text{Co}_x\text{Cu}_{0,55}\text{B}_{14}$ ($x=2,5, 5, 7,5, 10$) oraz $\text{Fe}_{84,4}\text{Co}_x\text{Cu}_{0,6}\text{B}_{15}$ i $\text{Fe}_{83,8}\text{Co}_x\text{Cu}_{1,2}\text{B}_{15}$ ($x=2,5, 5, 7,5$), Co i Mo dla $\text{Fe}_{85,3-(x-y)}\text{Co}_x\text{Mo}_y\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$ ($x=0, 5; y=0, 5$), Cr dla $\text{Fe}_{86-x}\text{Cr}_x\text{B}_{14}$ ($x=1, 3, 5$), Mo dla $\text{Fe}_{78,4}\text{Co}_5\text{Cu}_{0,6}\text{Mo}_x\text{B}_{15}$ oraz Nb dla $\text{Fe}_{78,4}\text{Co}_5\text{Cu}_{0,6}\text{Nb}_x\text{B}_{15}$ ($x=1, 2, 3$), które w celu optymalizacji właściwości magnetycznych poprzez kontrolowaną krystalizację, zostały poddane obróbce cieplnej.

Do opisanie procesu i kinetyki krystalizacji amorficznych taśm wykorzystano skaningową kalorymetrię różnicową, dynamiczną analizę mechaniczną oraz modele teoretyczne. Struktura krystaliczna została określona przy wykorzystaniu szerokokątowej dyfrakcji rentgenowskiej, dyfrakcji neutronowej, transmisyjnej mikroskopii elektronowej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej. Właściwości magnetyczne materiałów po odlaniu oraz po obróbce cieplnej określono przy wykorzystaniu systemu Remacomp, magnetometru wibracyjnego, analizatora impedancji oraz tensometrów. Lokalne otoczenie magnetyczne wokół Fe określono przy wykorzystaniu spektroskopii Mössbauera. Właściwości elektrochemiczne wybranych materiałów zostały opisane za pomocą badania potencjału obwodu otwartego oraz testów dynamicznych w 3,5% roztworze NaCl. Aktywność katalityczna taśm została określona w procesie foto-Fentona degradacji barwnika – błękitu metylenowego. Pomiary jego rozkładu wykonano na spektrometrze UV-VIS.

Skrótowo wymieniałem użyte w pracy różnorodne techniki badawcze aby podkreślić stosowanie przez Doktoranta wzajemnie uzupełniających się różnorodnych metod i technik pomiarowych. To stosowanie komplementarnych metod badawczych świadczy o dużej sprawności eksperymentatorskiej mgr inż. Tymona Warskiego i właściwym przygotowaniu do prowadzenia badań. **Dlatego uważam, że mgr inż. Tymon Warski wykazał w rozprawie doktorskiej posiadaną umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.**

Według mojej opinii, zakres badań zrealizowany w ramach recenzowanej pracy doktorskiej jest bardzo obszerny i przeprowadzony zgodnie z założonymi planami badawczymi. Świadczy on o bardzo dobrym połączeniu posiadanej wiedzy Doktoranta z zakresu wysokoindukcyjnych amorficznych i nanokrystalicznych materiałów magnetycznie miękkich ze zdolnościami eksperymentatora.

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników mgr inż. Tymon Warski potwierdził postawioną na początku tezę badawczą, a tym samym zrealizował cel pracy.

W mojej ocenie do ważnych i nowych wyników badań zawartych w pracy mgr inż. Tymona Warskiego, mieszczącej się w ramach dyscypliny inżynieria materiałowa, należy zaliczyć przede wszystkim (omawiając poszczególne prace tego cyklu):

[1] określenie wpływu małej ilości Cu na parametry termodynamiczne, kinetykę krystalizacji, strukturę krystaliczną i właściwości magnetyczne stopów $\text{Fe}_{86-x}\text{Cu}_x\text{B}_{14}$ ($x = 0, 0,4, 0,55, 0,7, 1$). Badania wykazały korelacje między parametrami termodynamicznymi, a procesem krystalizacji oraz właściwościami magnetycznymi stopów.

[2] określenie wpływu dodatku Co na parametry termodynamiczne, stabilność termiczną, strukturę krystaliczną i właściwości magnetyczne stopów $\text{Fe}_{85,45-x}\text{Co}_x\text{Cu}_{0,55}\text{B}_{14}$ ($x = 0, 2,5, 5, 7,5, 10$). Przeprowadzono optymalizację składu chemicznego oraz obróbki cieplnej, w celu uzyskania materiału o zwiększonej wartości indukcji nasycenia przy jednoczesnym zachowaniu jak najniższych wartości strat mocy w rdzeniu. Wykazano, że podstawienie Co za Fe w zakresie 0-10% at. zmniejsza wartość ΔG^{amorph} (a także podwyższa wartość ΔS^{conf} oraz obniża ΔG^{mix}), a tym samym poprawia GFA. Obserwacje nanostruktury dla próbek z Co = 0% at. oraz Co = 10% at. po obróbce w temperaturze 310°C przy wykorzystaniu TEM wykazały występowanie 20-30 nm nanokrystalitów fazy α -Fe otoczonych fazą amorficzną (przy czym ich ilość była większa dla próbki z dodatkiem Co). Analiza obrazów TEM i dyfrakcji elektronów potwierdziła, że optymalne właściwości magnetycznie miękkie są bezpośrednio związane ze współistnieniem fazy amorficznej i nanokrystalicznej oraz wielkością krystalitów.

[3] określenie wpływu dodatku Co i Mo oraz obróbki cieplnej w próżni i powietrzu na strukturę krystaliczną i właściwości magnetyczne stopów $\text{Fe}_{85,3}\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$. Uzyskano niskostratnych i wysokoindukcyjnych materiałów o podwyższonej odporności na utlenianie poprzez optymalizację obróbki cieplnej (w tym obróbki cieplnej w powietrzu) amorficznych taśm o składzie chemicznym zmodyfikowanym Co oraz Mo: $\text{Fe}_{80,3}\text{Co}_5\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$, $\text{Fe}_{80,3}\text{Mo}_5\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$ i $\text{Fe}_{75,3}\text{Co}_5\text{Mo}_5\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$. Stwierdzono, że dodatek Mo zwiększył wartość energii aktywacji krystalizacji fazy α -Fe jak i faz Fe-B. Mo stabilizował także proces krystalizacji fazy α -Fe niezależnie od obecności Co. Bazując na badaniach przy wykorzystaniu spektroskopii Mössbauera, średnie nadsubtelne pole magnetyczne B_{hf} i I_s pozostawało niezmiennie dla próbek po obróbce w próżni oraz w powietrzu w temperaturach 310°C i 330°C.

Prawie stałe wartości B_{hf} i I_s wskazują, że środowisko chemiczne jąder rezonansowych nie uległo zmianie, co oznacza, że zmiany w porządku bliskiego zasięgu były topologiczne, a nie miały pochodzenia chemicznego.

[4] przeprowadzenie analizy izotermicznego procesu krystalizacji, struktury krystalicznej i ewolucji właściwości magnetycznych w trakcie długotrwałego, niskotemperaturowego procesu obróbki cieplnej stopu $Fe_{80,3}Co_5Cu_{0,7}B_{14}$.

[5] określenie wpływu dodatku Cr na proces krystalizacji, właściwości magnetyczne, elektrochemiczne oraz katalityczne w amorficznych i nanokrystalicznych taśmach $Fe_{86-x}Cr_xB_{14}$ ($x = 1, 3, 5$) w celu określenia możliwości otrzymania materiału cechującego się aktywnością katalityczną w procesach foto-Fentona degradacji zanieczyszczeń organicznych oraz poprawioną odpornością na korozję, co umożliwi zwiększenie żywotności takiego katalizatora, przy jednoczesnym zachowaniu jego jak najlepszych właściwości magnetycznie miękkich.

[6] określenie korelacji pomiędzy strukturą krystaliczną oraz właściwościami magnetycznymi taśm metalicznych $Fe_{85-x}Cu_xB_{15}$ ($x = 0, 0,6, 1,2, 1,5$). Obserwacje TEM materiałów po obróbce cieplnej w optymalnej T_a wykazały, że stop bez dodatku Cu cechował się obecnością nanokrystalitów fazy α -Fe o wielkości 2 – 3 nm. W strukturze stopu z Cu = 0,6% at. zaobserwowano jedynie ograniczoną ilość nanoziaren α -Fe. Natomiast w przypadku stopu z Cu = 1,2% at. średnia wielkość krystalitów wynosiła około 26 nm i były one losowo rozmieszczone w matrycy amorficznej. Wyniki spektroskopii Mössbauera wskazywały, że dodatek Cu nie spowodował widocznych zmian parametrów oddziaływań nadsubtelnych omawianych taśm amorficznych po ich obróbce cieplnej. Uzyskane wyniki wskazywały jednak, że obróbka w powietrzu prowadziła do lokalnego uporządkowania struktury krystalicznej badanych stopów.

[7] określenie wpływu podstawienia Co za Fe na stabilność termiczną ΔT_x , proces krystalizacji, strukturę krystaliczną i właściwości magnetyczne stopów $Fe_{85-(x+y)}Co_xCu_yB_{15}$ ($x = 2,5, 5, 7,5$; $y = 0,6, 1,2$) w celu określenia optymalnych składów chemicznych oraz warunków obróbki cieplnej umożliwiających uzyskanie wysokich wartości B_s przy zachowaniu dobrych właściwości magnetycznie miękkich (niskiej wartości H_c i P_s).

[8] określenie wpływu dodatku Nb oraz Mo na proces krystalizacji, strukturę krystaliczną oraz właściwości magnetyczne taśmy $Fe_{79,4}Co_5Cu_{0,6}B_{15}$.

Dlatego uważam, że wyniki otrzymane przez mgr inż. Tymona Warskiego i zaprezentowane w recenzowanej pracy doktorskiej w formie spójnego tematycznie cyklu

publikacji sprawiają, że rozprawa ta stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Tak więc z całym przekonaniem mogę stwierdzić, że mgr inż. Tymon Warski osiągnął zamierzony cel pracy doktorskiej i wykazał dojrzałość, dociekliwość i kompetencję przy jego realizacji i właściwej interpretacji otrzymanych wyników.

Praca doktorska mgr inż. Tymona Warskiego ma jeszcze jeden atut, który wymaga podkreślenia – potencjalne zastosowanie w energoelektronice oraz procesach katalitycznych, czyli posiada charakter aplikacyjny. Ten charakter aplikacyjny został potwierdzony, żeby nie być gołosłownym, 4 patentami (zgłoszonymi do UPRP w latach 2020-2021) będącymi wynikiem realizacji doktoratu wdrożeniowego.

3. Uwagi do pracy

Jeszcze raz pragnę podkreślić, że moja ogólna ocena recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Tymona Warskiego jest bardzo pozytywna, co sądzę powinno być widoczne w tym co dotychczas napisałem. W pracy nie znalazłam zdań, które budziłyby moje jakiegokolwiek merytoryczne wątpliwości. Jednakże z obowiązku recenzenta chciałbym zwrócić uwagę na pewne drobne niedociągnięcia, które nie obniżają wartości pracy a moje uwagi jedynie mają służyć uczynieniu jej jeszcze lepszą:

1. W rozdziale „5. Omówienie wyników badań” Doktorant używa różnego oznaczenia tych samych publikacji przedstawionego cyklu, tzn. w tekście rozdziału stosuje [art. 1], [art. 2], (...), [art. 8], natomiast w podpisach pod rysunkami używa numeracji stosowanej w Bibliografii: [218], [219], (...), [225].
2. Brak wykazu stosowanych oznaczeń. Co prawda Doktorant wyjaśnia co oznacza dany symbol kiedy pojawia się w tekście pierwszy raz ale przy kolejnym trzeba szukać tego pierwszego.
3. Podpis rysunku 12 przechodzi na kolejną stronę.
4. Przy bardzo bogatej bibliografii brak cytowań prac powstałych w innych krajowych ośrodkach.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując, stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Tymona Warskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną

Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Opiniowaną rozprawę doktorską oceniam bardzo pozytywnie. Autor pracy podjął współczesny i aktualny temat badawczy oraz wykazał się dobrą orientacją w przedmiocie badań, a także dużym stopniem samodzielności naukowej i inwencji badawczej. Praca doktorska jest dowodem na to, że mgr inż. Tymon Warski potrafi zaplanować i zrealizować badania naukowe przy wykorzystaniu dobrze dobranych metod badawczych. Praca ta przedstawia odpowiedni poziom naukowy i zawiera szereg nowych wartościowych rezultatów. Stwierdzam przy tym, że cel pracy doktorskiej mgr inż. Tymona Warskiego został osiągnięty, a do jego realizacji użyto właściwych metod badań doświadczalnych, co zostało odpowiednio udokumentowane.

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana praca mgr inż. Tymona Warskiego zatytułowana: „Wpływ dodatków stopowych na właściwości magnetyczne, katalityczne oraz strukturę krystaliczną wysokoindukcyjnych materiałów magnetycznie miękkich na bazie żelaza” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w stosownych przepisach tj. ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz.1571) Art. 187 w dyscyplinie inżynieria materiałowa, wobec czego wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Tymona Warskiego do publicznej dyskusji nad Jego rozprawą doktorską przed Radą Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Dodatkowo, uwzględniając pozytywne aspekty pracy doktorskiej mgr inż. Tymona Warskiego, które starałem się uwypuklić w swej recenzji, wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej w Gliwicach o wyróżnienie pracy.

W szczególności uważam, że praca zasługuje na wyróżnienie ponieważ Doktorant w sposób kompletny podszedł do realizacji celu badań. Na podkreślenie zasługuje także fakt, że Doktorant nie tylko potrafił zaplanować i zrealizować badania wykorzystując uzupełniające się metody badawcze, ale również wykorzystał aplikacyjny charakter badań i uzyskał 4 patenty. Stwierdzam, że praca reprezentuje wysoki poziom naukowy. Mgr inż. Tymon Warski wykazał się dużą wiedzą w zakresie inżynierii materiałowej. Nie bez znaczenia jest również jasność przekazu prezentowanych wyników, poprawny język i redakcja pracy.

W uzasadnieniu mojego wniosku podaję, że na ogólną bardzo pozytywną ocenę opiniowanej pracy mgr inż. Tymona Warskiego składają się następujące elementy wyróżniające ją spośród innych prac doktorskich, a w szczególności:

- Autor, realizując postawioną tezę dowiódł dużej samodzielności naukowej, inwencji badawczej i sprawności eksperymentatorskiej;
- praca zawiera bardzo bogate i różnorodne wyniki eksperymentalne, znacznie przekraczające standardy przyjęte dla rozpraw doktorskich, jako rezultat komplementarnych, dobrze zaplanowanych badań;
- wysoki poziom naukowy i edytorski przedstawionego opracowania, przy zachowaniu rzetelności i obiektywności w przedstawieniu otrzymanych wyników.

Prof. Jerzy Wysocki

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)|

Częstochowa, dnia 2 stycznia 2026 r.