



Dr hab. inż. Tomasz Kozieł, 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, 05.01.2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Tymona Warskiego
pt. „Wpływ dodatków stopowych na właściwości magnetyczne, katalityczne oraz strukturę
krystaliczną wysokoindukcyjnych materiałów magnetycznie miękkich na bazie żelaza”

wykonanej pod kierunkiem Pana dr. hab. inż. Łukasza Hawelka (promotor)
oraz Pana dr. inż. Marcina Polaka (opiekun pomocniczy)

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej – pismo Przewodniczącego Pana prof. dr. hab. inż. Adama Grajcara, nr RDIMa.512.35.2025 z dnia 31 października 2025 r.

Podstawa prawna: Art. 187 Ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r. (j.t. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571).

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. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Tymona Warskiego dotyczy określenia wpływu małej ilości dodatków stopowych ($M = \text{Cu, Co, Nb, Mo, Cr}$) na strukturę w stanie lanym, proces krystalizacji w trakcie nagrzewania oraz właściwości magnetyczne stopów $\text{Fe}_{86-x}\text{M}_x\text{B}_{14}$ i $\text{Fe}_{85-x}\text{M}_x\text{B}_{15}$, a dla wybranych wariantów również właściwości elektrochemicznych i katalitycznych. Podstawą rozprawy jest cykl 8 spójnych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w języku angielskim w latach 2020 – 2025 w czasopismach z listy JCR. Wszystkie publikacje stanowiące podstawę recenzji są wieloautorskie, w trzech z nich Doktorant jest pierwszym i korespondencyjnym autorem, w dwóch jest drugim autorem, a w trzech – ostatnim autorem. Zgodnie z załączonymi oświadczeniami, udział Doktoranta w przygotowaniu publikacji wynosi od 45 do 55%. Sumaryczny współczynnik wpływu (*Impact Factor*) tych publikacji wynosi 28,5, zaś liczba punktów MNiSW wg wykazu z 2024 roku jest

równa 1110. Cztery publikacje zostały wydane w czasopiśmie *Materials* (wyd. MDPI), a pozostałe w czasopismach *Archives of Civil and Mechanical Engineering* (wyd. Springer Nature), *Scientific Reports* (wyd. Nature), *Journal of Physics and Chemistry of Solids* (wyd. Elsevier) i *Metallurgical and Materials Transactions A* (wyd. Springer Nature). Biorąc pod uwagę ograniczony czas na realizację pracy doktorskiej, osiem publikacji składających się na recenzowaną rozprawę należy uznać za bardzo dobry wynik, szczególnie, że praca była realizowana w ramach IV edycji Programu „Doktorat Wdrożeniowy”.

Przedstawiona do recenzji rozprawa w formie przewodnika liczy 246 stron, łącznie z pełnymi tekstami publikacji. Po krótkim wstępie (3 strony), Autor przedstawił cele i zakres pracy (rozdział 2 – 3 strony), a następnie tezę badawczą (rozdział 3 – 2 strony). W rozdziale tym, Doktorant sformułował również 7 pytań badawczych, na które odpowiedzi udzielić po przeprowadzeniu badań. Rozdział 4 (łącznie 40 stron) zawiera aktualny stan zagadnienia stopów wysokoindukcyjnych na osnowie żelaza – od zasad projektowania stopów do metod badawczych stosowanych do określenia ich własności fizykochemicznych. Autor dokonał podziału pierwiastków na ferromagnetyczne (Fe, Co, Ni), które odpowiadają przede wszystkim za właściwości magnetyczne, szkodliwotwórcze (B, Si, P, C), których zadaniem jest podwyższenie zdolności do zeszklenia stopu, kontrolujące rozrost ziarna (Nb, Mo, Zr, Ti, Cr, Hf, Ta, W) oraz wspierające proces zarodkowania roztworu α -Fe (Cu, Ag, Au). Każdemu z pierwiastków bazowych (Fe, B) i dodatków stopowych (Cu, Co, Nb, Mo, Cr) wykorzystanych w badanych stopach, poświęcony jest oddzielny podrozdział, w którym opisane zostały podstawowe własności i rola w składzie chemicznym. W dalszej części przedstawione są metody wytwarzania amorficznych stopów na osnowie Fe, pojęcia krytycznej szybkości chłodzenia, czynników wpływających na zdolność do zeszklenia. Istotną część stanowią rozdziały 4.2.3, 4.2.4 i 4.2.5, opisujące zależność pomiędzy procesem obróbki cieplnej wyjściowo amorficznych stopów, ich strukturą oraz własnościami magnetycznymi, elektrochemicznymi i katalitycznymi. W podrozdziale 4.3, Doktorant przedstawił „Metody badań taśm na bazie żelaza”.

Cały rozdział 4 bazuje na 182 pozycjach literaturowych (na 225 ujętych w bibliografii) i większości są to publikacje w renomowanych periodykach z ostatnich 20 lat. W tej części pracy Doktorant zacytował 3 własne pozycje, które nie weszły w skład cyklu stanowiącego podstawę rozprawy doktorskiej. Wykorzystanie literatury naukowej generalnie jest bardzo silną stroną pracy, ponieważ uzyskane wyniki są konfrontowane z danymi dostępnymi w literaturze, co świadczy o aktualności prowadzonych badań naukowych, bardzo dobrym rozeznaniu Doktoranta w tym obszarze oraz umiejętności do prowadzenia badań naukowych w zakresie inżynierii materiałowej.

Rozdział 5 (20 stron) zawiera opis wyników uzyskanych we wszystkich 8 publikacjach składających się na cykl prac, w tym wybrane rysunki zapożyczone z własnych publikacji, oraz przykłady zastosowań wyników pracy w działalności wdrożeniowej.

W rozdziale 6 „Podsumowanie” (9 stron) Doktorant dokonał odpowiedzi na postawione w rozdziale 3 pytania badawcze. Zadaniem Recenzenta, na tej podstawie Autor mógł pokusić się również o wyciągnięcie kilku najważniejszych wniosków z przeprowadzonych badań.

W kolejnych rozdziałach znajdują się bibliografia (rozdział 7 – 17 stron), streszczenia w języku polskim i angielskim (rozdziały 8 i 9 – łącznie 24 strony), pełne teksty publikacji (rozdział 10 – łącznie 90 stron), a w dwóch ostatnich – oświadczenia współautorów (22 strony) i dorobek naukowy Doktoranta (11 stron).

Cały przewodnik został ogólnie bardzo dobrze przygotowany. Choć zakres badanych stopów jest bardzo szeroki, ponieważ obejmuje zarówno wpływ składu chemicznego (2 stopy bazowe, 5 pierwiastków stopowych, które dodawano w różnej ilości oraz w kombinacji z kolejnym dodatkiem), wpływ temperatury obróbki cieplnej oraz rodzaju ośrodka (próżnia lub powietrze) na różne właściwości fizykochemiczne, to opracowanie jest spójne i przejrzyste. Praca napisana jest bardzo

dobrze pod względem językowym i edytorskim, ale Autor nie ustrzegł się pewnych uchybień i błędów językowych, które wskazane są w dalszej części recenzji.

3. Ocena doboru tematyki, zakresu i metodyki badań

Wytwarzanie materiałów o coraz lepszych właściwościach jest kluczowym warunkiem rozwoju cywilizacji. Materiały magnetycznie miękkie należą do szczególnie istotnej grupy, ponieważ umożliwiają znaczną redukcję straty energii w trakcie działania zmiennego pola magnetycznego. Choć stopy na osnowie Fe w postaci taśm odlewanych metodą *melt spinning* są znane od ponad 30 lat, to cały czas istnieje potrzeba optymalizacji składu chemicznego pod kątem zminimalizowania kosztu wytwarzania, a także opracowania technologii obróbki cieplnej umożliwiającej osiągnięcie optymalnych własności, w zależności od stawianych wymagań.

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 badania struktury stopu nie ograniczają się wyłącznie do stanu lanego, ale również obróbki cieplnej. Metodyka oraz zakres badań zostały dobrane w taki sposób, aby otrzymane materiały i wyniki badań mogły zostać skonfrontowane między sobą oraz z innymi materiałami obecnie stosowanymi w energoelektronice.

Historia szkieł metalicznych, a więc stopów amorficznych bazujących na metalach wytworzonych na drodze krzepnięcia, sięga roku 1960, kiedy to przedstawiono pierwsze doniesienie literaturowe potwierdzające amorficzną strukturę stopu $\text{Au}_{75}\text{Si}_{25}$. W odróżnieniu od materiałów polikrystalicznych, wytwarzanie szkieł metalicznych zazwyczaj wymaga zastosowania technologii zapewniających bardzo wysokie szybkości chłodzenia podczas krzepnięcia. Obecnie wiadomo, że każdy stop metaliczny można zeszklić poprzez chłodzenie z zakresu stabilności fazy ciekłej, przy czym krytyczna szybkość chłodzenia, a więc minimalna szybkość chłodzenia umożliwiająca uniknięcie procesu krystalizacji w trakcie krzepnięcia, zależy przede wszystkim od jego składu chemicznego. Pierwsze szkło metaliczne w układzie Fe-C-P wytworzono już w 1967 roku, a od tego czasu opracowano wiele układów szklotwórczych. Zdolność do zeszklenia stopów na osnowie żelaza w porównaniu do innych pierwiastków bazowych jest stosunkowo niewielka. W literaturze znanych jest kilka stopów wieloskładnikowych na osnowie Fe dla których średnica krytyczna wynosi kilka mm, jak np. stop $\text{Fe}_{51}\text{Mn}_{10}\text{Mo}_{14}\text{Cr}_4\text{C}_{15}\text{B}_6$. Warto dodać, że autorzy publikacji V. Ponnambalam, S.J. Poon, G.J. Shiflet, V.M. Keppens, R. Taylor, and G. Petculescu: *Synthesis of iron-based bulk metallic glasses as nonferromagnetic amorphous steel alloys*. *Appl. Phys. Lett.* 83, 1131 (2003) określili wytworzony materiał jako „nonferromagnetic amorphous steel”, ale skład chemiczny nie ma zbyt wiele wspólnego z klasyczną definicją stali.

Pomimo ograniczonej zdolności do zeszklenia, szkła metaliczne na osnowie żelaza zajmują pierwsze miejsce jeśli chodzi o liczbę doniesień literaturowych spośród wszystkich układów szklotwórczych (<https://doi.org/10.1088/2752-5724/ac4558>), co jest związane głównie z koniecznością poszukiwania materiałów o coraz lepszych właściwościach magnetycznych. Zgodnie z danymi przytoczonymi przez Doktoranta w rozprawie, rynek materiałów amorficznych i nanokrystalicznych materiałów to od 3,2 do 5,2 miliarda dolarów i według analiz prognozowany jest jego dalszy wzrost. 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, które na dzień złożenia rozprawy doktorskiej zostały zacytowane 38 razy.

Docelowe badania własne, Doktorant przeprowadził na 2 stopach bazowych $\text{Fe}_{86}\text{B}_{14}$ i $\text{Fe}_{85}\text{B}_{15}$. Choć skład chemiczny jest bardzo zbliżony, to ze względu na fakt, iż w stopach szklotwórczych nawet

niewielka zmiana stężenia często prowadzi do istotnej zmiany zdolności do zeszklenia i/lub stabilności termicznej, taki wybór materiału do badań jest w pełni uzasadniony. Do potwierdzenia założonej tezy i odpowiedzi na postawione pytania badawcze wytworzono łącznie 31 materiałów w postaci taśm odlewanych metodą *melt spinning*. Przeanalizowano wpływ następujących dodatków stopowych na proces krystalizacji i własności fizykochemiczne:

- Cu: stopy $\text{Fe}_{86-x}\text{Cu}_x\text{B}_{14}$ ($x = 0, 0,4, 0,55, 0,7, 1$) [art. 1] oraz $\text{Fe}_{85-x}\text{Cu}_x\text{B}_{15}$ ($x = 0, 0,6, 1,2, 1,5$) [art. 6];
- Co: stopy $\text{Fe}_{85,45}\text{Co}_x\text{Cu}_{0,55}\text{B}_{14}$ ($x = 2,5, 5, 7,5, 10$) [art. 2] oraz $\text{Fe}_{84,4}\text{Co}_x\text{Cu}_{0,6}\text{B}_{15}$ i $\text{Fe}_{83,8}\text{Co}_x\text{Cu}_{1,2}\text{B}_{15}$ ($x = 2,5, 5, 7,5$) [art. 7];
- Mo: stopy $\text{Fe}_{79,4-x}\text{Co}_5\text{Cu}_{0,6}\text{Mo}_x\text{B}_{15}$ ($x = 1, 2, 3$) [art. 8];
- Nb dla $\text{Fe}_{79,4-x}\text{Co}_5\text{Cu}_{0,6}\text{Nb}_x\text{B}_{15}$ ($x = 1, 2, 3$) [art. 8];
- Co i Mo: stopy $\text{Fe}_{85,3-(x+y)}\text{Co}_x\text{Mo}_y\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$ ($x = 0, 5; y = 0, 5$) [art. 3]
- Cr: stopy $\text{Fe}_{86-x}\text{Cr}_x\text{B}_{14}$ ($x = 1, 3, 5$) [art. 5].

Art. 4 dotyczy wpływu długotrwałej, niskotemperaturowej obróbki cieplnej stopu $\text{Fe}_{80,3}\text{Co}_5\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$ na proces relaksacji, strukturę krystaliczną i właściwości magnetyczne.

Na uwagę zasługuje szerokie spektrum wykorzystanych metod badawczych, mających na celu określenie struktury i mikrostruktury stopów (rentgenowska analiza fazowa, dyfrakcja neutronów, skaningowa i transmisyjna mikroskopia elektronowa, spektroskopia Mössbauera), stabilności termicznej i kinetyki procesu krystalizacji (różnicowa analiza termiczna, skaningowa kalorymetria różnicowa) oraz kompleksowych właściwości magnetycznych (magnetometria wibracyjna, pomiar pętli histerezy metodą statyczną, pomiar zespolonej przenikalności magnetycznej w funkcji częstotliwości, pomiar magnetostrykcji). W jednej z prac (art. 5) dodatkowo określono wpływ zawartości Cr na właściwości elektrochemiczne i katalityczne w amorficznych i nanokrystalicznych stopach $\text{Fe}_{86-x}\text{Cr}_x\text{B}_{14}$ ($x = 1, 3, 5$) i w tym celu przeprowadzono pomiary potencjału obwodu otwartego OCP oraz degradacji barwników organicznych (błękitu metylenowego oraz rodminy B) w procesach utleniania, rejestrowanego przy wykorzystaniu spektroskopii w ultrafiolecie i świetle widzialnym.

Zdaniem Recenzenta taki zestaw użytych technik, w odniesieniu do założonego celu pracy i postawionych pytań badawczych dobrano poprawnie, używając ich w sposób komplementarny.

4. Ocena merytoryczna pracy

Oceniając pracę od strony merytorycznej należy podkreślić bardzo szeroki i ambitny plan badań, wymagający od Doktoranta ogromnego nakładu pracy. Zaplanowane eksperymenty oraz interpretacja wyników badań nie budzą wątpliwości, a cały przewodnik stanowi bardzo dobre opracowanie. Niezwykle istotne jest, że dobór pierwiastków stopowych oraz ich stężenie w kolejno badanych stopach nie jest wynikiem przypadku, ale efektem przemyślanej strategii. Wychodząc od stopów dwuskładnikowych ($\text{Fe}_{86}\text{B}_{14}$ lub $\text{Fe}_{85}\text{B}_{15}$), opracowane zostały składy chemiczne stopów domieszkowanych miedzią: $\text{Fe}_{86-x}\text{Cu}_x\text{B}_{14}$ ($x = 0; 0,4; 0,55; 0,7; 1$) [art. 1] oraz $\text{Fe}_{85-x}\text{Cu}_x\text{B}_{15}$ ($x = 0; 0,6; 1,2; 1,5$) [art. 6], przy czym stężenie tego pierwiastka dobierano w oparciu o obliczenia termodynamiczne energii swobodnej Gibbsa tworzenia się fazy amorficznej stopów trójskładnikowych, a wartości odpowiadające minimalnej wartości ΔG^{amorph} , tj. $\text{Fe}_{81,55}\text{Cu}_{0,55}\text{B}_{14}$ oraz $\text{Fe}_{84,4}\text{Cu}_{0,6}\text{B}_{15}$ (dla tego układu zbadano także stop $\text{Fe}_{83,8}\text{Cu}_{1,2}\text{B}_{15}$) stanowiły z kolei materiał bazowy przy analizie wpływu czwartego dodatku stopowego, czyli kobaltu. Pierwiastek ten, który dodawano w ilości od 2,5 do 10% at., miał na celu zwiększenie wartości indukcji nasycenia przy jednoczesnym zachowaniu jak najniższych wartości strat mocy w rdzeniu, co znalazło potwierdzenie w wynikach badań Doktoranta. W wariancie zawierającym 14% at. B, zbadano również właściwości fizykochemiczne stopów domieszkowanych chromem - $\text{Fe}_{86-x}\text{Cr}_x\text{B}_{14}$ ($x = 1, 3, 5$), niobem lub molibdenem -

$\text{Fe}_{79,4-x}\text{Co}_5\text{M}_x\text{Cu}_{0,6}\text{B}_{15}$ ($\text{M} = \text{Nb}, \text{Mo}, x = 1, 2, 3 \text{ at.}\%$) oraz jednoczesnym dodatkiem kobaltu i molibdenu - $\text{Fe}_{85,3-(x+y)}\text{Co}_x\text{Mo}_y\text{Cu}_{0,7}\text{B}_{14}$ ($x = 0, 5; y = 0, 5$).

Poza zbadaniem wpływu dodatków stopowych na proces krystalizacji, ważnym aspektem pracy jest optymalizacja procesu obróbki cieplnej, umożliwiającej uzyskanie optymalnych właściwości magnetycznych. Obróbka ta polegała na nagrzewaniu taśm z szybkością $10^\circ\text{C}/\text{min}$ do danej temperatury oraz wygrzewaniu izotermicznym w próżni lub w powietrzu przez 20 minut, przy czym temperatura dobierana była na podstawie uprzedniej analizy termicznej stopu. Doktorant wykazał, że wyżarzanie w próżni nie przynosi dodatkowych korzyści z punktu widzenia właściwości magnetycznych.

Postawiona teza, w szczególności pierwsze zdanie wskazujące, że „*właściwości fizykochemiczne (...) stopów na bazie Fe-B w postaci taśm zależą głównie od ich składu chemicznego oraz struktury krystalicznej*” zdaniem Recenzenta jest nieco zbyt ogólna. Druga część tezy: „*Obecność dodatków stopowych (Cu, Co, Nb, Mo, Cr) oraz proces obróbki cieplnej umożliwia sterowanie tymi właściwościami pod określoną aplikację*” jest poprawna, ale moim zdaniem Doktorant mógł w tezie dodatkowo wskazać pierwiastki i/lub strukturę stopu niezbędną do spełnienia warunku uzyskania wysokoindukcyjnych ($> 1,5 \text{ T}$) materiałów magnetycznie miękkich, co w rozprawie zostało wskazane jako główny cel rozprawy.

Moja ogólna ocena rozprawy doktorskiej jest bardzo wysoka. Na podkreślenie zasługuje, fakt, że ma ona charakter zarówno poznawczy, jak i wdrożeniowy. Za największe osiągnięcie Doktoranta uważam potwierdzenie aplikacyjnego zastosowania badanych stopów w energoelektronice oraz w procesach katalitycznych. Poniżej zestawilem uwagi ogólne i dyskusyjne, o których wyjaśnienie proszę Doktoranta, oraz mniej istotne uwagi natury edycyjnej. Przedstawione uwagi, często o charakterze polemicznym, w niczym nie umniejszają wartości naukowej recenzowanej rozprawy i nie wpływają na pozytywny odbiór całej pracy.

Uwagi ogólne i dyskusyjne

1. Na podstawie składu chemicznego stopów, Doktorant wyznaczył parametry termodynamiczne układów trójskładnikowych $\text{Fe}_{86-x}\text{Cu}_x\text{B}_{14}$ i $\text{Fe}_{85-x}\text{Cu}_x\text{B}_{15}$, a stężenia miedzi zapewniające najniższą wartością ΔG^{amorph} w tych stopach wybrano jako bazową zawartość dla układów czteroskładnikowych z kobaltem. Doktorant zaznaczył, że stop $\text{Fe}_{84,45}\text{Cu}_{0,55}\text{B}_{14}$ charakteryzuje się najniższą temperaturą początku krystalizacji fazy $\alpha\text{-Fe}$, prawie najniższą wartością średniej energii aktywacji krystalizacji tej fazy, co można skorelować z minimum wartości ΔG^{amorph} .

Biorąc pod uwagę, że minimalna wartość energii swobodnej Gibbsa tworzenia się fazy amorficznej pozwala określić dla jakiego składu chemicznego powstanie struktury amorficznej jest najbardziej preferowane, a więc jest termodynamicznym wyznacznikiem zdolności do zeszklenia stopu, to zdaniem Recenzenta skorelowanie ww. wartości z minimum ΔG^{amorph} nie jest zasadne, ponieważ nie ma ścisłego związku ze stabilnością wytworzonej fazy amorficznej. Moje przypuszczenia potwierdza fakt, że dla stopów $\text{Fe}_{85-x}\text{Cu}_x\text{B}_{15}$ ($x = 0; 0,6; 1,2; 1,5$) minimum ΔG^{amorph} wyznaczono dla zawartości Cu równej 0,6, podczas gdy dla wyższych zawartości miedzi uzyskano wyraźnie niższe wartości zarówno temperatury początku krystalizacji, jak i samej energii aktywacji. Proszę o komentarz Doktoranta.

2. Zgodnie z tym co Doktorant opisuje w przewodniku, dodatek miedzi miał na celu umożliwienie procesu zarodkowania roztworu $\alpha\text{-Fe}$ i przedstawione wyniki to potwierdzają. Ze względu na dodatnią entalpię mieszania z żelazem, miedź co do zasady nie jest pierwiastkiem podnoszącym zdolność do zeszklenia stopu, ale w niewielkiej ilości dodatek tego pierwiastka obniża energię

swobodną tworzenia fazy amorficznej. Poprawie zdolności do zeszklenia stopu zazwyczaj towarzyszy obniżenie temperatury topnienia. Doktorant zaznaczył, że temperatury odlewania stopów były wyznaczane na podstawie wyników analizy DTA. Czy dodatek miedzi wpłynął istotnie na temperatury solidus i likwidus badanych stopów?

3. W rozdziale 5, opisując rolę miedzi w stopach żelaza, Doktorant przedstawił dane literaturowe świadczące o pozytywnym wpływie tego pierwiastka na tzw. „okno temperaturowe” obróbki cieplnej, czyli poszerzenie zakresu pomiędzy temperaturą początku krystalizacji roztworu α -Fe i borków. Nie znalazło to jednak potwierdzenia w wynikach badań. Dla stopu dwuskładnikowego $\text{Fe}_{86}\text{B}_{14}$ wartość ta wynosi $106,5^{\circ}\text{C}$, a dodatek miedzi w ilości 1% obniżył tę wartość do $97,1^{\circ}\text{C}$. Z kolei dla stopu $\text{Fe}_{85}\text{B}_{15}$, wartość tę wyznaczono na $41,3^{\circ}\text{C}$, a dodatek 0,6% Cu obniżył tę wartość do $34,2^{\circ}\text{C}$, podczas gdy 1,2% Cu skutkuje podwyższeniem zakresu do $54,8^{\circ}\text{C}$. Z czego wynika ten niejednoznaczny wpływ tego pierwiastka?
4. W art. 6 dotyczącym wpływu dodatku Cr na własności stopu $\text{Fe}_{86}\text{B}_{14}$, poza wpływem tego pierwiastka na proces krystalizacji i własności magnetyczne, Doktorant zbadał własności katalityczne stopów, a celem pracy było określenie możliwości otrzymania materiału cechującego się aktywnością katalityczną w procesach foto-Fentona degradacji zanieczyszczeń organicznych. Proszę o komentarz czy takimi własnościami cechują się tylko stopy z dodatkiem Cr oraz o wyjaśnienie mechanizmu aktywności katalitycznej.
5. Czy stopy po procesie kontrolowanej krystalizacji zapewniającej optymalne własności magnetyczne charakteryzowały się większą kruchością? Proszę o komentarz Doktoranta.

Uwagi edycyjne

1. W rozprawie Doktorant stosuje określenie ΔT_x , będące różnicą temperatur T_{x2} i T_{x1} , które jest bardzo ważnym elementem przy projektowaniu obróbki cieplnej stopów. Dla osób związanych z tematyką szkieł metalicznych, określenie ΔT_x może być jednak mylące, ponieważ w literaturze pod tym oznaczeniem kryje się różnica temperatur początku krystalizacji (T_x) i temperatury zeszklenia (T_g), a ΔT_x jest powszechnie używane jako wyznacznik stabilności termicznej stopu. Ponadto w artykule 1 z cyklu publikacji, wyznaczono temperatury T_{onset} i T_x , gdzie zgodnie z rysunkiem 2b w tej publikacji, T_x oznacza temperaturę pików.
2. Na str. 25 przedstawione są wybrane wskaźniki zdolności do zeszklenia, w tym $\Delta T_{xg} = T_x/T_g$. Oznaczanie ΔT_{xg} jest zamiennie stosowane w literaturze z ww. ΔT_x , a więc określa różnicę, a nie iloraz, temperatur T_x i T_g .
3. Jednym z celów szczegółowych (str. 8) było „opracowanie metody wytwarzania taśm amorficznych przy wykorzystaniu metody szybkiego schładzania ciekłego stopu na wirującym bębnie (z ang. melt-spinning)”. W ramach badań Doktorant nie opracował tej metody, a jedynie wybrał parametry odlewania umożliwiające uzyskanie taśmy, więc sformułowanie to „opracowanie metody wytwarzania” nie jest zasadne.
4. Niektóre akronimy są w rozprawie wyjaśniane kilkakrotnie, np. „GFA (z ang. Glass Forming Ability)”, „TEM (z ang. Transmission Electron Microscopy)”, „VSM (z ang. Vibrating Sample Magnetometer)”, „OCP (z ang. Open Circuit Potential)”, „XRD (z ang. X-Ray Diffraction)”, „DTA (z ang. Differential Thermal Analysis)”, „DSC (z ang. Differential Scanning Calorimetry)”. Lepszym rozwiązaniem byłoby dodanie rozdziału ze spisem oznaczeń.

5. Literówki: „(...) w trakcie procesu odlewania taśmy ...” (str. 11), „(...) oraz pierwiastki wspierający proces nukleacji fazy ...” (str. 14), „Mała ilość B w stopach na bazie Fe wpływa ...”, (str. 17) „(...) rozmieszczone w sposób przypadkowo ...” (str. 24), „właściwości magnetycznych w trakcie długotrwałej, niskotemperaturowego procesu obróbki cieplnej stopu ...” (str. 60), „Umożliwiłoby to zwiększenie żywotności takiego katalizatora...” (str. 63).
6. Cytując prace wieloautorские, Doktorant odnosi się tylko do głównego autora, np. „Parsons wykazał zbliżoną zmianę (...) [73].”, a powinien zapisać to jako „Parsons i wsp.”. W artykułach składających się na cykl publikacji, tego typu błędy nie występują, ponieważ Doktorant stosuje sformułowania „Parsons et al.” lub „K. Suzuki et al.”.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Tymona Warskiego pt. „Wpływ dodatków stopowych na właściwości magnetyczne, katalityczne oraz strukturę krystaliczną wysokoindukcyjnych materiałów magnetycznie miękkich na bazie żelaza” jest bardzo dobrze ulokowana w dyscyplinie inżynieria materiałowa, a **wyniki uzyskanych badań stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.** Autor zbadał wpływ stężeń pierwiastków stopowych (Cu, Co, Nb, Mo, Cr) na właściwości fizykochemiczne stopów Fe-B w postaci taśm, a także udowodnił możliwość dostosowania składu chemicznego oraz parametrów obróbki cieplnej do wymagań stawianych w konkretnych zastosowaniach. Cykl 8 spójnych tematycznie publikacji naukowych, które już zostały zacytowane 38 razy, potwierdza aktualność tematyki oraz **bardzo dobrą wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa.** Dobór pierwiastków stopowych oraz ich stężenia jest efektem przemysłowej strategii wspartej obliczeniami termodynamicznymi, dzięki czemu rozprawa doktorska jest przemyślana i spójna. Przedstawiony plan badawczy, metody badawcze wybrane do potwierdzenia tezy i odpowiedzi na postawione pytania badawcze, a także przedstawiona analiza wyników potwierdzają **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.**

Mimo zawartych w recenzji uwag, jednoznacznie stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przewidziane odpowiednimi ustawami, wobec czego wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Tymona Warskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę istotę podjętych badań oraz ich wysoki poziom naukowy, potwierdzony publikacjami w czasopiśmie z obszaru inżynierii materiałowej oraz udzielonymi patentami, jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej.

Prof. Tomasz Koziel

/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)