

dr hab. Grzegorz Dercz, prof. UŚ
Instytut Inżynierii Materiałowej
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytet Śląski
ul. 75 Pułku Piechoty 1A
41-500 Chorzów

Chorzów, 29.12.2025r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt.

„Wytwarzanie, badania struktury, wpływ obróbki cieplnej na właściwości szybkochłodzonych stopów na bazie żelaza”

Autor: mgr inż. Bartosz Płoszaj

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Częstochowskiej R-WiPiTM.BOD.511.3.2025 z dnia 13 listopada 2025r., przekazana w piśmie Dziekana Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów prof. dr hab. Sebastiana Mróz z dnia 02 grudnia 2025r, zgodnie z wymaganiami z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.) oraz rozprawy doktorskiej pt. „Wytwarzanie, badania struktury, wpływ obróbki cieplnej na właściwości szybkochłodzonych stopów na bazie żelaza”.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartosza Płoszaj pt. „Wytwarzanie, badania struktury, wpływ obróbki cieplnej na właściwości szybkochłodzonych stopów na bazie żelaza”, przygotowana w dyscyplinie inżynieria materiałowa na Politechnice Częstochowskiej, Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, w Katedrze Fizyki. Promotorem rozprawy jest dr hab. Katarzyna Błoch, prof. PCz, natomiast promotorem pomocniczym dr Simon Walters.

Rozprawa została przygotowana w klasycznej, monograficznej formie i obejmuje zarówno rozbudowaną część studialną, jak i część poświęconą badaniom własnym. Układ pracy jest czytelny i logiczny, a kolejność poszczególnych elementów odpowiada przyjętym standardom opracowań doktorskich w obszarze inżynierii materiałowej, w szczególności w zakresie badań materiałów amorficznych i nanokrystalicznych oraz ich właściwości magnetycznych.





Rozprawa doktorska liczy 138 stron maszynopisu i została przygotowana w formie zwartego, monograficznego opracowania. Układ pracy jest przemyślany i konsekwentny, a całość została logicznie podzielona na część studialną oraz część obejmującą badania własne Autora. Autor rozpoczyna opracowanie od streszczenia w języku polskim i angielskim, a następnie zamieszcza wykaz symboli, oznaczeń i skrótów stosowanych w tekście, co w przypadku pracy obejmującej szerokie spektrum zagadnień z zakresu inżynierii materiałowej i magnetyzmu należy uznać za zabieg w pełni uzasadniony i ułatwiający lekturę. Takie uporządkowanie aparatu pojęciowego sprzyja przejrzystości narracji oraz pozwala na swobodniejsze śledzenie dalszych rozważań teoretycznych i wyników badań doświadczalnych.

Zasadnicza część rozprawy została podzielona na dwie główne części. Pierwszą z nich stanowią studia literaturowe, w których Autor przedstawia szeroki przegląd zagadnień związanych ze stopami amorficznymi i nanokrystalicznymi. Część ta obejmuje ogólny rys historyczny rozwoju tych materiałów, charakterystykę stopów amorficznych, w tym ich strukturę, właściwości mechaniczne i magnetyczne, stabilność termiczną oraz możliwe obszary zastosowań. Istotne miejsce zajmują również rozdziały poświęcone procesom krystalizacji, modelom zarodkowania i wzrostu kryształów, a także charakterystyce stopów nanokrystalicznych. Autor omawia ponadto metody wytwarzania stopów amorficznych i nanokrystalicznych oraz zagadnienia związane z relacją pomiędzy strukturą a właściwościami magnetycznymi, w tym podejście do ferromagnetycznego nasycenia i paraproces Holsteina-Primakoffa. Część literaturowa została opracowana obszernie i stanowi solidne wprowadzenie do tematyki badań własnych.

Należy podkreślić, że przegląd literatury został przygotowany w sposób staranny i uporządkowany. Autor wykazuje się dobrą orientacją w klasycznych oraz współczesnych pracach dotyczących materiałów amorficznych i nanokrystalicznych na bazie żelaza. Przedstawione treści nie ograniczają się jedynie do prostego zestawienia danych literaturowych, lecz tworzą spójną narrację, umożliwiającą właściwe osadzenie dalszych rozważań w aktualnym stanie wiedzy. Szczególnie istotne jest omówienie wpływu składu chemicznego i dodatków stopowych na strukturę i właściwości magnetyczne stopów, co bezpośrednio koresponduje z zakresem badań własnych.

Drugą zasadniczą część rozprawy stanowią badania własne, poprzedzone wyraźnie wyodrębnionym rozdziałem poświęconym sformułowaniu tezy oraz celów pracy. Teza rozprawy została sformułowana w sposób jednoznaczny i pozostaje w ścisłym związku z problematyką przedstawioną w części literaturowej. Cele pracy obejmują wytworzenie szybkochłodzonych stopów na bazie żelaza, zaprojektowanie procesu obróbki cieplnej oraz ocenę wpływu tego procesu na strukturę i właściwości magnetyczne badanych materiałów. Tak określone cele należy uznać za jasno sformułowane i adekwatne do charakteru rozprawy doktorskiej.

Część metodyczna rozprawy została opracowana w sposób przejrzysty i obejmuje opis materiału badań, metod wytwarzania próbek oraz zastosowanych technik badawczych. Autor przedstawia proces otrzymywania taśm szybkochłodzonych metodą odlewania ciekłego stopu na wirującym walcu, a następnie omawia zastosowane metody charakteryzacji struktury i mikrostruktury oraz techniki pomiaru właściwości magnetycznych. Dobór metod badawczych jest spójny z postawionymi celami pracy i pozwala na analizę zależności pomiędzy procesem technologicznym, stanem strukturalnym i właściwościami magnetycznymi badanych stopów.

Rozdziały poświęcone prezentacji wyników badań i ich dyskusji stanowią zasadniczy trzon rozprawy. Autor w logiczny sposób prowadzi analizę od oceny struktury stopów w stanie po szybkim zestaleniu, poprzez analizę zmian wywołanych zaprojektowaną obróbką cieplną, aż do omówienia właściwości magnetycznych. Wyniki badań zostały zaprezentowane w sposób uporządkowany, a ich interpretacja została odniesiona do danych literaturowych. Dyskusja ma charakter rzeczowy i wyważony, a wnioski wynikają bezpośrednio z przedstawionych rezultatów eksperymentalnych.

Rozprawę zamyka rozdział zawierający wnioski, w których Autor syntetycznie podsumowuje najważniejsze osiągnięcia pracy, odnosząc je do sformułowanych wcześniej celów i tezy. Całość uzupełnia obszerna część bibliograficzna, obejmująca literaturę krajową i zagraniczną z zakresu materiałów amorficznych, nanokrystalicznych oraz magnetyzmu technicznego. Dobór literatury należy ocenić jako właściwy i adekwatny do podejmowanej tematyki.

Całość rozprawy uzupełnia obszerny zestaw bibliograficzny obejmujący 215 pozycji literaturowych, co należy uznać za istotny atut pracy. Dobór źródeł jest tematycznie spójny i dobrze wspiera zakres rozprawy, obejmując zarówno klasyczne prace dotyczące stopów amorficznych i nanokrystalicznych oraz mechanizmów ich krystalizacji, jak i literaturę związaną z magnetyzmem technicznym oraz analizą procesu magnesowania. W bibliografii obecne są pozycje o charakterze kanonicznym, stanowiące trwałe punkty odniesienia dla badań nad szkłami metalicznymi, jak również liczne publikacje późniejsze, dokumentujące rozwój tej problematyki. Analiza roczników wskazuje, że literatura obejmuje szeroki przedział czasowy od 1900 do 2022 roku, z wyraźną reprezentacją publikacji z ostatnich kilkunastu lat, co świadczy o dążeniu Autora do osadzenia wyników w aktualnym stanie wiedzy. Jednocześnie brak pozycji z lat 2023–2025 można traktować jako potencjalny obszar do uzupełnienia w przyszłych opracowaniach. Na podkreślenie zasługuje obecność pozycji książkowych i monograficznych, zarówno zagranicznych, jak i krajowych, co wzmacnia część studialną pracy. W bibliografii uwzględniono również jedną publikację autorstwa Doktoranta, bezpośrednio związaną z tematyką rozprawy; zakres autocytowań jest niewielki i w pełni uzasadniony merytorycznie.

Z punktu widzenia kompletności zapisu bibliograficznego drobną uwagę można



sformułować w aspekcie redakcyjnym: w wykazie literatury nie podano identyfikatorów DOI, co nie wpływa jednak na ogólną, pozytywną ocenę doboru literatury.

Całość rozprawy tworzy spójne i uporządkowane opracowanie, w którym część teoretyczna stanowi logiczne wprowadzenie do zaplanowanych i zrealizowanych badań eksperymentalnych. Układ pracy jest przejrzysty, a sposób prezentacji treści odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

3. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Płoszaja wpisuje się jednoznacznie w obszar inżynierii materiałowej i dotyczy zagadnień o ugruntowanej pozycji badawczej, a jednocześnie zachowujących wysoką aktualność naukową i aplikacyjną. Przedmiotem badań są szybkochłodzone stopy na bazie żelaza, ich struktura oraz właściwości magnetyczne, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu obróbki cieplnej. Jest to obszar intensywnie eksplorowany zarówno w badaniach podstawowych, jak i w pracach ukierunkowanych na zastosowania praktyczne, zwłaszcza w kontekście rozwoju nowoczesnych materiałów magnetycznie miękkich.

Część studialna pracy jest integralnie związana z jej tematyką i została oparta na szerokim oraz starannie dobranym przeglądzie literatury przedmiotu. Autor wykorzystuje zarówno klasyczne opracowania dotyczące stopów amorficznych i nanokrystalicznych, jak i liczne prace poświęcone mechanizmom krystalizacji, stabilności strukturalnej oraz zależnościom pomiędzy składem chemicznym, strukturą a właściwościami magnetycznymi. Taki dobór literatury pozwala na właściwe umiejscowienie rozprawy na tle aktualnego stanu wiedzy oraz na zidentyfikowanie obszarów, w których dalsze badania są zasadne i uzasadnione.

Część literaturowa pracy stanowi bardzo dobry punkt wyjścia do dalszych badań własnych, umożliwiając nie tylko syntetyczne przedstawienie aktualnego stanu wiedzy, lecz również wskazanie zależności i mechanizmów istotnych z punktu widzenia realizacji celu rozprawy. Na uwagę zasługuje klarowna i uporządkowana charakterystyka zagadnień związanych z magnetyzmem technicznym oraz opis technik badawczych stosowanych w analizie struktury i właściwości magnetycznych materiałów amorficznych i nanokrystalicznych. Świadczy to o przemyślanym i świadomym podejściu Autora do planowania dalszych etapów pracy badawczej.

Wynikiem krytycznej analizy literatury i jej syntetycznego podsumowania było sformułowanie przez Autora zakresu, celu oraz tezy pracy. Sformułowany cel rozprawy należy uznać za trafny i dobrze osadzony w aktualnych potrzebach badań nad materiałami magnetycznymi na bazie żelaza, w szczególności stopami amorficznymi i nanokrystalicznymi o właściwościach magnetycznie miękkich. Zaproponowana teza badawcza jest poprawna pod względem naukowym, logicznie wynika z analizy stanu wiedzy i została sformułowana na tyle

ogólnie, że umożliwiała rozważenie różnych wariantów składu chemicznego oraz parametrów obróbki cieplnej, przy jednoczesnym zachowaniu jednoznacznego ukierunkowania na rozwiązanie określonego problemu materiałowego.

Cele rozprawy doktorskiej zostały przedstawione w sposób jasny, precyzyjny i ambitny. Obejmują one zarówno aspekt naukowy, związany z poznaniem wpływu obróbki cieplnej na strukturę i właściwości magnetyczne badanych stopów, jak i aspekt technologiczny, dotyczący projektowania procesu izotermicznego wygrzewania oraz oceny jego skutków strukturalnych. Tak sformułowane cele pozostają spójne z tematyką pracy oraz z aktualnymi kierunkami rozwoju badań nad materiałami magnetycznie miękkimi.

Zakres pracy należy uznać za dobrze przemyślany i adekwatny do postawionych celów. Autor skoncentrował się na jasno określonym układzie materiałowym oraz na wybranych parametrach procesu technologicznego, co umożliwiło przeprowadzenie badań w sposób uporządkowany i konsekwentny. Jednocześnie przyjęty zakres nie jest nadmiernie zawężony, dzięki czemu uzyskane wyniki pozwalają na formułowanie wniosków o charakterze bardziej ogólnym, istotnych z punktu widzenia inżynierii materiałowej.

Tak zaprojektowany dobór tematyki, zakres pracy oraz wynikające z analizy literatury założenia badawcze należy ocenić jako dobrze przemyślane, spójne i w pełni odpowiadające aktualnym trendom rozwoju inżynierii materiałowej oraz badań nad nowoczesnymi materiałami magnetycznymi, w szczególności materiałami magnetycznie miękkimi na bazie żelaza. W mojej ocenie Autor trafnie zidentyfikował istotny problem badawczy, a przyjęty zakres pracy stwarza realne możliwości uzyskania wyników o znaczeniu zarówno poznawczym, jak i aplikacyjnym.

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Z punktu widzenia oceny merytorycznej rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Płoszaja kluczowe znaczenie ma konsekwentne przeprowadzenie pełnego ciągu badawczego: od zaprojektowania składu stopów i technologii ich wytwarzania, poprzez kontrolowaną obróbkę cieplną, aż po wieloaspektową charakterystykę struktury oraz właściwości magnetycznych, wraz z interpretacją wyników w odniesieniu do znanych mechanizmów odpowiedzialnych za zachowanie materiałów amorficznych i nanokrystalicznych. Praca ma w tym obszarze charakter uporządkowany, a poszczególne etapy badań są ze sobą logicznie powiązane i wprost podporządkowane realizacji tezy oraz celu rozprawy.

Istotnym walorem dysertacji jest jasno zdefiniowany materiał badawczy oraz konsekwentna zmienność jednego parametru stopowego. Autor przebadał serię stopów o składzie $Fe_{65}Co_{11-x}Zr_2Hf_2B_{20}Si_x$, w której zawartość krzemu gdzie „x” przyjmowało wartości 0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 oraz 1,50, przy jednoczesnym zmniejszaniu udziału kobaltu.



Takie podejście umożliwia wiarygodną analizę wpływu dodatku Si na strukturę oraz parametry magnetycznie miękkie.

Na pozytywną ocenę zasługuje metodyka wytwarzania próbek, opisana w sposób umożliwiający jej odtworzenie. Zastosowanie techniki szybkiego chłodzenia ciekłego stopu na miedzianym, wirującym walcu (melt spinning), wraz z podaniem kluczowych parametrów procesu (m.in. prędkości liniowej walca ~ 30 m/s, warunków próżniowych i ciśnieniowych), świadczy o poprawnym warsztacie technologicznym Autora. Informacje te mają istotne znaczenie dla oceny stopnia zeszklenia, jednorodności strukturalnej oraz poziomu naprężeń własnych w taśmach amorficznych.

W zakresie obróbki cieplnej Autor zaprojektował i zrealizował izotermiczny proces wygrzewania w próżni przez 30 min w temperaturze 720 K. Uzyskane wyniki wskazują, że dla większości badanych stopów obróbka cieplna nie prowadziła do powstania dalekozasięgowego uporządkowania krystalicznego, natomiast dla stopów o zawartości Si = 1,25 %at. oraz 1,5 %at. zaobserwowano pojawienie się pików dyfrakcyjnych świadczących o obecności składowej krystalicznej. Autor trafnie zauważa, że nie odpowiadają one jednoznacznie fazie α -Fe, co stanowi istotny element poznawczy pracy i wskazuje na bardziej złożony mechanizm przemian strukturalnych w rozpatrywanym układzie skład-proces-struktura.

Dobór technik badawczych należy uznać za adekwatny do celów dysertacji. Strukturę próbek analizowano metodami XRD oraz SEM/EDS, natomiast właściwości magnetyczne badano z wykorzystaniem wag Faradaya oraz magnetometru wibracyjnego VSM. Szczególnie cenne jest wprowadzenie analizy podejścia do ferromagnetycznego nasycenia według teorii Kronmüllera, która umożliwia pośrednie wnioskowanie o defektach strukturalnych i naprężeniach wewnętrznych w stopach amorficznych, znacząco podnosząc poziom naukowy pracy.

Wyniki magnetyczne zostały zaprezentowane w sposób przejrzysty i umożliwiający ocenę wpływu składu chemicznego oraz obróbki cieplnej na parametry magnetycznie miękkie. Autor wykazał, że w stanie po zestaleniu magnetyzacja nasycenia mieści się w zakresie 1,2-1,304 T, przy czym najkorzystniejszą kombinację M_s i H_c uzyskano dla stopu o zawartości Si = 1 %at. Obróbka cieplna prowadziła do dalszej poprawy właściwości magnetycznych, w tym do istotnego obniżenia pola koercji, szczególnie dla próbek z częściową składową krystaliczną. Istotnym uzupełnieniem badań jest pogłębiona analiza właściwości temperaturowych. Autor wykazał występowanie więcej niż jednej temperatury Curie, co zinterpretował jako obecność różnych stanów magnetycznych w badanych materiałach. Takie ujęcie pozwala spojrzeć na badane stopy nie tylko z perspektywy pętli histerezy, lecz również stabilności magnetycznej w podwyższonych temperaturach. Dodatkowo wykazano istnienie anizotropii magnetycznej



w taśmach amorficznych, powiązanej z procesem szybkiego chłodzenia i stanem naprężeń wewnętrznych, co ma znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne.

Podsumowując ocenę merytoryczną, należy stwierdzić, że Autor przeprowadził kompletne i logicznie powiązane badania nad serią stopów Fe-Co-Zr-Hf-B z dodatkiem Si, wykazując wpływ składu chemicznego oraz obróbki cieplnej na strukturę i właściwości magnetyczne. Przedstawione wyniki w sposób merytorycznie uzasadniony realizują postawiony cel pracy i potwierdzają sformułowaną tezę.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Płoszaja należy zaliczyć:

- kompleksowe przebadanie serii szybkochłodzonych stopów na bazie żelaza o kontrolowanie modyfikowanym składzie chemicznym, umożliwiające jednoznaczną ocenę wpływu dodatku krzemu na strukturę i właściwości magnetyczne,
- wykazanie, że odpowiednio zaprojektowana izotermiczna obróbka cieplna prowadzi do poprawy parametrów magnetycznie miękkich, w szczególności do obniżenia pola koercji przy jednoczesnym wzroście magnetyzacji nasycenia,
- świadome połączenie klasycznych metod charakteryzacji struktury z pogłębioną analizą magnetyczną, obejmującą m.in. wyznaczanie temperatur Curie oraz analizę podejścia do ferromagnetycznego nasycenia,
- wskazanie, że w rozpatrywanym układzie stopowym mechanizm przemian strukturalnych po wygrzewaniu nie zawsze prowadzi do pojawienia się oczekiwanej fazy α -Fe, co stanowi cenny wkład do dyskusji nad stabilnością strukturalną szkła metalicznego,
- wykazanie istnienia anizotropii magnetycznej w badanych taśmach amorficznych, powiązanej z procesem ich wytwarzania i stanem naprężeń wewnętrznych,
- potwierdzenie poprawnego warsztatu eksperymentalnego oraz umiejętności interpretacji wyników w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy, co świadczy o dojrzałości naukowej Autora.

Oceniając pracę od strony merytorycznej, należy podkreślić, że zaplanowane eksperymenty oraz interpretacja wyników zostały wykonane starannie i w sposób przemyślany. Zastosowany zestaw metod badawczych jest adekwatny do postawionych celów i pozwala na kompleksową ocenę właściwości wytworzonych materiałów. Całość przedstawionych badań potwierdza poprawny warsztat badawczo-naukowy Autora oraz jego swobodne posługiwanie się zastosowanymi metodami w celu realizacji celów pracy.

Lektura rozprawy doktorskiej przynosi również pewne uwagi, komentarze oraz pytania, które nie podważają ogólnej, wysokiej oceny pracy, lecz wskazują na kwestie wymagające doprecyzowania lub pogłębionego odniesienia się przez Autora:





1. W rozprawie występuje rozbieżność dotycząca deklarowanej grubości wytworzonych taśm. Na s. 50 oraz we wnioskach Autor podaje wartość około 30 μm , natomiast w części poświęconej badaniom SEM/EDS (s. 72) wskazana jest grubość rzędu 20 μm . Różnica ta nie została w pracy wyjaśniona. Recenzent prosi o odniesienie się do tej kwestii oraz o doprecyzowanie, jaką metodą i na podstawie jakich danych pomiarowych wyznaczono grubość taśm.
2. W pracy wskazano, że po obróbce cieplnej dla stopów o wyższej zawartości krzemu pojawiają się piki dyfrakcyjne, których położenie nie odpowiada jednoznacznie fazie $\alpha\text{-Fe}$. Recenzent prosi o odniesienie się do możliwości występowania innych faz bogatych w Fe lub faz metastabilnych oraz o komentarz, czy rozważano zastosowanie dodatkowych metod (np. analizy TEM lub bardziej szczegółowego dopasowania profili XRD) w celu jednoznacznej identyfikacji tych obszarów krystalicznych.
3. Strona 68; Autor posługuje się sformułowaniem „...w wyniku analizy powierzchniowego trawienia elektronami...” w odniesieniu do przygotowania powierzchni próbek do obserwacji. Określenie to nie jest jednoznaczne i może budzić wątpliwości interpretacyjne. Recenzent zwraca się z uprzejmą prośbą o doprecyzowanie, czy jest to skrót myślowy, względnie jaką metodą oraz w jaki sposób realizowano to trawienie.
4. Strona 68; w pracy pojawia się pytanie natury terminologicznej dotyczące prezentowanych wyników analizy EDS. Recenzent prosi o jednoznaczne odniesienie się, czy przedstawione wykresy EDS Autor traktuje jako elektronogramy, czy też są one jedynie wynikami analizy składu chemicznego uzyskanymi przy użyciu detektora EDS.
5. W Tabeli 3 (wyniki mikroanalizy EDS; odniesienie do rys. 23-25; s. 72), zwraca uwagę niejednolita liczba cyfr po przecinku w wartościach zawartości poszczególnych pierwiastków (np. Fe, Co, Zr, Hf, Si). Recenzent prosi o wyjaśnienie, z czego wynika zastosowana precyzja zapisu (zaokrąglenia), tj. czy wynika ona z ustawień oprogramowania, sposobu eksportu danych, czy z przyjęcia określonego poziomu niepewności. Z punktu widzenia poprawności prezentacji wyników wskazane byłoby również podanie (choćby orientacyjnie) błędu / niepewności wyznaczania ilościowego udziału pierwiastków w analizie EDS (np. w formie informacji opisowej w tekście), ponieważ bez tej informacji trudno ocenić istotność obserwowanych odchyień.
6. Dane przedstawione w Tabeli 3 (s. 72) wskazują na zauważalne odstępstwa pomiędzy składem nominalnym a składem wyznaczonym metodą EDS, szczególnie w przypadku krzemu (np. dla $\text{Si}_{0,5}$ $\sim 0,848$; $\text{Si}_{0,75}$ $\sim 1,006$; $\text{Si}_{1,5}$ $\sim 1,888$). Recenzent prosi Autora o odniesienie się do możliwych przyczyn tych różnic, w szczególności w kontekście lokalnego i półilościowego charakteru metody EDS, doboru obszarów analizy, ewentualnej mikro-niejednorodności składu oraz wpływu geometrii i topografii taśm



(strona matowa/błyszcząca), a także zastosowanych korekcji ilościowych i standardów. Równocześnie w Tabeli 3 widoczne są odchylenia dla cyrkonu i hafnu, które nominalnie występują na poziomie 2 at.%. Wskazane byłoby doprecyzowanie, czy Autor traktuje te różnice jako mieszczące się w granicach niepewności metody EDS, czy jako potencjalny efekt lokalnej niejednorodności składu, oraz podanie informacji o liczbie wykonanych analiz i sposobie uśredniania wyników.

7. Na s. 72 Autor stwierdza, że wytworzone taśmy miały zakładany skład chemiczny. W świetle danych z Tabeli 3 sformułowanie to wymaga doprecyzowania, czy dotyczy składu nominalnego wynikającego z procesu wytwarzania, czy składu potwierdzonego pomiarowo, a jeśli to drugie, to w jakim zakresie dokładności. Rozważenia wymaga ewentualne złagodzenie tego stwierdzenia.
8. Autor przedstawia szczegółowe wyniki magnetyzacji nasycenia oraz pola koercji, wskazując na poprawę parametrów magnetycznie miękkich po obróbce cieplnej. Recenzent zwraca się z prośbą o krótkie doprecyzowanie, czy w ocenie Autora uzyskane wartości M_s i H_c , szczególnie dla optymalnych składów, mogą być rozpatrywane jako konkurencyjne w odniesieniu do znanych materiałów referencyjnych, czy też ich znaczenie ma obecnie przede wszystkim charakter poznawczy.
9. Autor wykazuje, że izotermiczne wygrzewanie w temperaturze 720 K prowadzi do istotnych zmian właściwości magnetycznych, a w wybranych składach także do pojawienia się składowej krystalicznej. W kilku miejscach interpretacja tych efektów ma charakter opisowy. Recenzent zwraca się z uprzejmą prośbą o bardziej jednoznaczne rozróżnienie, w jakim stopniu obserwowane zmiany są efektem relaksacji strukturalnej matrycy amorficznej, a w jakim wynikiem inicjacji procesów nanokrystalizacji, oraz czy Autor widzi możliwość ilościowego rozdzielenia tych dwóch mechanizmów.
10. Obecność więcej niż jednej temperatury Curie została w pracy poprawnie zidentyfikowana i opisana, jednak jej interpretacja pozostawia pewne pole do dalszej dyskusji. Recenzent prosi o doprecyzowanie, czy Autor wiąże drugą temperaturę Curie z obecnością wydzielonej fazy krystalicznej, obszarów o podwyższonym uporządkowaniu lokalnym, czy też z innym mechanizmem magnetycznym wynikającym z heterogenicznej struktury stopu.
11. Autor wykazuje zależność parametrów magnetycznych od orientacji próbki względem kierunku magnesowania, co wskazuje na istnienie anizotropii magnetycznej w taśmach amorficznych. Czy Autor rozważył możliwość rozdzielenia wpływu anizotropii naprężeniowej i strukturalnej oraz czy istnieją przesłanki, by uznać, że obserwowane



efekty mają dominujący związek z procesem szybkiego chłodzenia, a nie z późniejszą obróbką cieplną.

12. Przyjęty zakres składu stopów jest jasno określony i konsekwentnie realizowany, jednak Recenzent zwraca się z prośbą o komentarz, w jakim stopniu sformułowane wnioski można ekstrapolować na inne układy Fe-B-(Zr,Hf) z dodatkami metaloidów, a w jakim zakresie są one ściśle związane z badanym układem Fe-Co-Zr-Hf-B-Si.
13. Rozprawa prezentuje spójny i kompletny zestaw badań, jednak Recenzent sugeruje uzupełnienie dyskusji o krótkie wskazanie głównych ograniczeń zastosowanej metodyki (np. w zakresie rozdzielczości strukturalnej lub interpretacji pośrednich metod magnetycznych) oraz o wskazanie, które elementy pracy Autor uznaje za najbardziej perspektywiczne do dalszego rozwijania w przyszłych badaniach.
14. W rozprawie przedstawiono obszerny i szczegółowy zestaw wyników dotyczących wpływu składu chemicznego oraz obróbki cieplnej na strukturę i właściwości magnetyczne badanych stopów. Z analizy poszczególnych wyników można wnioskować, że wybrane składy charakteryzują się korzystniejszą kombinacją parametrów magnetycznych niż pozostałe. W pracy brakuje jednak jednoznacznego, syntetycznego podsumowania wskazującego, który z badanych składów Autor uznaje za najbardziej optymalny w świetle przyjętych kryteriów oceny. Recenzent prosi o odniesienie się do tej kwestii oraz o doprecyzowanie, czy zdaniem Autora możliwe jest wskazanie składu najbardziej perspektywicznego (np. z punktu widzenia właściwości magnetycznie miękkich lub potencjalnych zastosowań), czy też uzyskane wyniki należy traktować przede wszystkim jako materiał porównawczy o charakterze poznawczym.

Podczas czytania rozprawy niestety odczuwalny jest pewien pośpiech w opracowywaniu jej treści, bowiem miejscami pojawiają się tzw. skróty myślowe czy usterki natury terminologicznej i czysto edytorskiej, na przykład:

1. Strona 49; występuje błąd edycyjny polegający na użyciu słowa „*chodzenia*” zamiast poprawnego określenia „*chłodzenia*”.
2. Strona 49; przy opisie składu chemicznego stopów zauważalna jest niejednorodność zapisu udziałów poszczególnych pierwiastków, nawet w obrębie jednego składu raz stosowany jest zapis z użyciem przecinków, a innym razem z kropkami (np. $Fe_{65}Co_{9,5}Zr_2Hf_2B_{20}Si_{1,5}$). Wskazane byłoby ujednoczenie zapisu zgodnie z przyjętą konwencją.
3. Strony 49-50; na tym etapie niestety brakuje jednoznacznej informacji, czy udziały poszczególnych pierwiastków w składach stopów podawane są w procentach atomowych czy wagowych. Informacja ta pojawia się dopiero w dalszej części rozprawy, z punktu widzenia czytelności pracy zasadne byłoby jej jednoznaczne

wskazanie już we wprowadzeniu.

4. Strona 55; w tekście pojawia się sformułowanie „*Przedstawione obrazy dyfrakcji promieni Roentgena są podobne*”, które w kontekście naukowym wymaga doprecyzowania np. „dyfraktogramy”.
5. Strona 55; w środkowej części strony Autor pisze „*Kształt opisywanych dyfraktometrów rentgenowskich jest typowy...*” opis dotyczy w istocie dyfraktogramów, a nie dyfraktometrów, co może wprowadzać czytelnika w błąd.
6. Strona 58; użyto słowa „róże” w znaczeniu technicznym, które w obecnej formie odpowiada znaczeniu potocznemu dla kwiatka. Wskazana jest korekta zapisu na właściwe określenie techniczne, zgodne z kontekstem opisu instalacji lub elementu aparatury.
7. Strona 60; w opisie zjawisk strukturalnych użyto sformułowania „*ścieśnianie sieci atomowej*”, które w tym kontekście jest nieprecyzyjne i terminologicznie niepoprawne. Z punktu widzenia krystalografii czy też fizyki ciała stałego oraz opisu materiałów amorficznych bardziej właściwe byłoby użycie pojęcia „*kontrakcja struktury atomowej*” lub równoważnego określenia odnoszącego się do skrócenia średnich odległości międzypłaszczyznowych.

Zdaniem Recenzenta, treść rozprawy stanowi zamkniętą i spójną całość, w której postawiona teza doktorska została przekonująco uzasadniona, a wszystkie założone cele badawcze zostały w znacznej mierze zrealizowane. Rozprawa napisana jest poprawnym językiem technicznym, z zachowaniem przejrzystości narracji i starannie opracowaną szatą graficzną. Przedstawione wyniki mają istotną wartość naukową i potencjalnie aplikacyjną, a ich znaczenie wykracza poza wąski zakres badanych materiałów, stanowiąc solidną podstawę do dalszych badań w obszarze nowoczesnych materiałów magnetycznych. Zgłoszone w recenzji uwagi mają charakter uzupełniający i mogą być pomocne przy dalszych analizach oraz pogłębianiu badań nad zaprezentowanymi rozwiązaniami.

5. Ocena i wniosek końcowy

Podsumowując całość przedstawionych rozważań należy stwierdzić, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartosza Płoszaja jest pracą dobrze osadzoną w aktualnym stanie wiedzy z zakresu inżynierii materiałowej oraz badań nad materiałami magnetycznymi na bazie żelaza. Autor podjął tematykę istotną zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i potencjalnych zastosowań praktycznych, a zaprojektowane i zrealizowane badania odpowiadają współczesnym kierunkom rozwoju materiałów magnetycznie miękkich.

Rozprawa została wykonana i napisana na wysokim poziomie naukowym. Autor wykazał się szeroką wiedzą teoretyczną w zakresie struktury i właściwości stopów amorficznych





i nanokrystalicznych, jak również dobrą znajomością metod badawczych stosowanych w analizie strukturalnej i magnetycznej. Przedstawiona dysertacja zawiera obszerny materiał doświadczalny, uzyskany w wyniku konsekwentnie zaplanowanych badań, a uzyskane wyniki zostały poprawnie opracowane i zinterpretowane w odniesieniu do literatury przedmiotu.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autor potrafił powiązać zagadnienia technologiczne z analizą struktury oraz właściwości magnetycznych, wykazując zależności typu proces-struktura-właściwości. Praca charakteryzuje się poprawnym warsztatem badawczym, a sposób prowadzenia dyskusji świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia badań. Otrzymane wyniki stanowią solidną podstawę do dalszych prac badawczych, zarówno o charakterze podstawowym, jak i aplikacyjnym.

Zgłoszone w recenzji uwagi mają w przeważającej mierze charakter edycyjny oraz doprecyzowujący i nie wpływają na ogólną, pozytywną ocenę rozprawy. Dotyczą one głównie precyzji sformułowań, spójności opisu wybranych zagadnień metodycznych oraz interpretacji niektórych wyników, a ich uwzględnienie może przyczynić się do dalszego podniesienia jakości opracowania i ułatwić odbiór pracy przez czytelnika.

W opinii Recenzenta, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartosza Płoszaja pt. „*Wytwarzanie, badania struktury, wpływ obróbki cieplnej na właściwości szybkochłodzonych stopów na bazie żelaza*”, spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.). Praca stanowi oryginalne rozwiązanie podjętego problemu badawczego i potwierdza, że Autor posiada kwalifikacje niezbędne do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Płoszaj i dopuszczenie Autora do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.