

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marzeny Tokarewicz „Kształtowanie właściwości mechanicznych stopów wysokoentropowych na bazie AlCoCrFeNi”

Promotor: dr hab. inż. Małgorzata Grądzka-Dahlke

1. Podstawy formalne do opracowania recenzji

Recenzję wykonano na zlecenie Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej, wyrażone w piśmie WM–IMM.4130.8.26, podpisał je prof. dr hab. inż. Romuald Mosdorf, Przewodniczący Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego PB, oraz w umowie o dzieło nr 10/WM/2026, podpisanej przez Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej Politechniki Białostockiej prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Jana Kurzyńskiego.

2. Informacja o ocenianej rozprawie doktorskiej

2.1. Tytuł rozprawy, ocena układu treści, zakresu i struktury rozprawy

Postępowanie w sprawie nadania stopnia doktora zostało wszczęte 12 lutego 2026 roku. W przedstawionej przez Radę Naukową Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej dokumentacji brak jest informacji o wcześniejszym ubieganiu się o stopień doktora przez mgr inż. Marzenę Tokarewicz. Analizowana rozprawa doktorska mgr inż. Marzeny Tokarewicz, pod tytułem **„Kształtowanie właściwości mechanicznych stopów wysokoentropowych na bazie AlCoCrFeNi”**, została napisana na 104 stronach tekstu i zawiera:

Wstęp

1. Przegląd literatury
2. Cel i zakres rozprawy doktorskiej
3. Metodyka badań
4. Wynika badań i dyskusja
5. Podsumowanie

Literatura

Spis rysunków

Spis tabel

Streszczenie

Abstract.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Małgorzata Grądzka-Dahlke.

Struktura rozprawy jest typowa dla rozpraw doktorskich. Obok elementów formalnych lub związanych z wymaganiami definiowanymi przepisami prawa, takich jak streszczenie w językach polskim i angielskim, autorka zamieszcza syntetyczny wstęp w którym określa pojęcie stopów wysokoentropowych, ich najważniejsze zastosowania, uzasadnia celowość podjęcia badań oraz informuje o zawartości swojej rozprawy.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Przegląd literatury” doktorantka krótko opisuje historię badań stopów wysokoentropowych, elementy nazewnictwa, w tym problemy związane z definicją tych stopów, następnie omawia specyfikę tych stopów w kontekście ich właściwości. Syntetycznie omawia także problematykę projektowania tych materiałów w kontekście oczekiwanych cech. Rozdział ten zawiera także przegląd najważniejszych technologii związanych z wytwarzaniem analizowanych stopów, takich jak topienie, metalurgia proszków i wytwarzanie przyrostowe oraz przykłady przemysłowego ich wykorzystania.

Rozdział drugi „Cel i zakres rozprawy doktorskiej” przedstawiony na stronach 38-40 zawiera syntetycznie przedstawiony cel podjętych badań, hipotezę badawczą oraz ogólnie zarysowany zakres rozprawy.

Rozdział trzeci „Metodyka badań” koncentruje uwagę doktorantki na następujących elementach związanych z wytwarzaniem stopów oraz przyjętymi sposobami i metodami ich badań: wytwarzanie stopów, badania mikrostruktury i składu chemicznego, badania struktur krystalicznych metodą dyfrakcji rentgenowskiej, badania twardości, badania wytrzymałości przy trójpunktowym zginaniu oraz statycznym rozciąganiu, badania właściwości tribologicznych oraz badania odporności na utlenianie w wysokich temperaturach.

Rozdział czwarty „Wyniki badań i dyskusja” stanowi kluczowy element analizowanej rozprawy. Doktorantka na podstawie literatury wybiera stop bazowy do dalszych badań. Tym stopem jest znany z licznych publikacji stop wysokoentropowy AlCoCrFeNi. W pierwszym etapie badań, doktorantka analizuje wpływ zawartości aluminium na właściwości tego stopu. W efekcie tych badań do kolejnego etapu wybiera stop $Al_{0,5}CoCrFeNi$ oraz $Al_{0,7}CoCrFeNi$. Dla tych stopów doktorantka przeprowadza pogłębioną analizę badawczą ich cech i w konsekwencji do dalszych badań, obejmujących modyfikację stopu dodatkiem V lub Ti, wybiera stop $Al_{0,7}CoCrFeNi$. W kolejnym etapie doktorantka koncentruje się na badaniach dotyczących wpływu przyjętych dodatków V lub Ti na właściwości stopu. Konsekwencją tych badań jest przyjęcie do kolejnego etapu prac stopu modyfikowanego Ti. Efektem tych badań, obejmujących stopy $Al_{0,7}CoCrFeNiTi_x$, gdzie $x = 0,05, 0,2, 0,5$, jest wybór stopu $Al_{0,7}CoCrFeNiTi_{0,05}$ jako materiału wykazującego najwyższą odporność na utlenianie wysokotemperaturowe oraz posiadającego relatywnie korzystne cechy wytrzymałościowe.

W rozdziale piątym „Podsumowanie”, str. 115-117, autorka bardzo syntetycznie podsumowuje efekty swoich pomiarów i analiz.

W rozprawie zamieszczono również wykaz analizowanej bibliografii, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis tabel i rysunków. Układ rozprawy jest logiczny, uporządkowany, kolejne etapy prac są naturalnym następstwem uzyskanych wyników badań. Z formalnego punktu widzenia rozprawa spełnia przewidziane kryteria prawne.

2.2. Ocena celu rozprawy, hipotezy badawczej oraz zastosowanych metod pracy badawczej

Cel i planowany zakres rozprawy jest przedstawiony w rozdziale drugim. Doktorantka uzasadnia celowość podjętych badań w kontekście potencjalnych zastosowań stopów wysokoentropowych w budowie maszyn eksploatowanych w warunkach wysokich obciążeń termomechanicznych. To uzasadnienie jest konkretne i nie budzi wątpliwości. Autorka zamierza udoskonalić właściwości stopu bazowego AlCoCrFeNi poprzez jego modyfikację dodatkowym składnikiem oraz analizować zawartość Al w kontekście oczekiwanych właściwości. Stosowano typowe dla prac naukowych procedury postępowania, wykorzystano zaawansowaną aparaturę do badań, uzyskane wyniki prezentowano w poprawny naukowo sposób. Hipotezę badawczą doktorantka przedstawiła na str. 39 rozprawy i brzmi ona następująco: *„zmiana składu chemicznego w szczególności zawartości aluminium i wybranych składników stopowych (Ti, V) umożliwi kontrolowane kształtowanie struktury fazowej i mikrostruktury stopów AlCoCrFeNi a tym samym pozwala na świadome regulowanie ich właściwości mechanicznych, tribologicznych i żaroodporności”*. Teza jest poprawna, choć zdaniem oceniającego, jest sformułowana na tyle ogólnie, że nosi nadmiernie cechy oczywistości. Istotny wpływ aluminium w tym stopie na jego właściwości jest znany z badań innych autorów, wiadomo jest także, że dodatki stopowe, takie jak Ti czy V istotnie wpływają na właściwości tego stopu. Gdyby doktorantka wyraźnie sprecyzowała w hipotezie badawczej, że zamierza optymalizować właściwości stopu, przy czym funkcją celu jest stop o konkretnie zdefiniowanych cechach, hipoteza byłaby łatwiejsza w naukowej weryfikacji. Nie mam uwag do zastosowanych metod pracy badawczej, podkreślam istotność aplikacyjną rozwiązywanego problemu, doktorantka wskazuje potencjalnych użytkowników opracowanego materiału. Na pozytywną uwagę zasługuje logiczny ciąg podejmowanych badań, ich następstwo jest skutkiem badań poprzedzających, prowadzi to w konsekwencji do uzyskania wyniku, który jest konkretnym efektem przeprowadzonych badań i analiz.

Wysoko oceniam wiedzę i doświadczenie badawcze doktorantki w obszarze inżynierii materiałów metalowych, w tym w technikach i metodach badań tych materiałów. Doktorantka wykazuje dobrą intuicję badawczą, syntetycznie, ale profesjonalnie interpretuje uzyskane wyniki, logicznie planuje kolejne etapy badań.

2.3. Ocena wykorzystanego piśmiennictwa oraz opisu stanu wiedzy

Analizowana literatura obejmuje 180 pozycji, jest to literatura anglojęzyczna (z wyjątkiem jednej polskiej normy). Analizowana literatura w zdecydowanej większości pochodzi z ostatnich 10 lat, jest obszerna, aktualna i dobrze skorelowana z tematyką rozprawy. Doktorantka kompetentnie przywołuje interesujące elementy wiedzy, bez licznych pozycji jednocześnie. Pewien niedosyt budzi brak syntetycznego podsumowania stanu wiedzy w kontekście celów rozprawy, zwłaszcza osobistej, krytycznej refleksji doktorantki na temat tego stanu. W zasadzie tylko ostatni akapit podsumowania takiej osobistej oceny dotyczy. Taka syntetyzująca ocena ułatwia formułowanie hipotez badawczych, wskazanie „niszy” badawczej

którą doktorantka zamierza rozwinąć, jest też ważnym elementem w ocenie doktorantki jako kandydatki do uzyskania samodzielności badawczej.

3. Ocena uzyskanych wyników badań oraz poziomu ich naukowej dyskusji

Zaplanowanie i przeprowadzenie obszernego programu prac analitycznych i badawczych pozwoliło doktorantce na realizację zakładanych celów oraz weryfikację sformułowanej hipotezy badawczej. Ważniejsze efekty uzyskane przez doktorantkę są następujące:

- A. Doktorantka pozytywnie zweryfikowała hipotezę badawczą, sformułowany cel pracy został osiągnięty.
- B. Doktorantka potwierdziła swoje kompetencje badawcze, w tym umiejętność planowania eksperymentów, umiejętność posługiwania się nowoczesną aparaturą badawczą oraz znajomość podstaw naukowych teorii wnioskowania.
- C. Doktorantka opracowała skład chemiczny interesującego stopu, rzetelność tego opracowania daje podstawy do stwierdzenia, że uzyskane efekty mają obiecujący potencjał aplikacyjny.
- D. Doktorantka, na podstawie własnych badań, podjęła próbę opracowania modelu mechanizmów zużycia podczas prób tribologicznych dla trzech analizowanych stopów. Jest to ogólne, ale syntetyzujące opracowanie i może być dobrą wskazówką dla osób prowadzących badania na tych materiałach.
- E. Należy podkreślić, że w każdym obszarze prac niezbędnych do uzyskania efektów przedstawionych w pkt A-D, doktorantka wykazała się kompetencjami, a dyskusja wyników jest na dobrym poziomie.

4. Uwagi do ocenianej rozprawy

4.1. Uwagi i sugestie dotyczące otrzymanych rezultatów

Pewne elementy dotyczące przebiegu badań, ich prezentacji oraz interpretacji otrzymanych wyników i formułowanych wniosków, wymagają dodatkowych wyjaśnień Doktorantki:

- A. Doktorantka prowadzi wszystkie swoje eksperymenty na próbkach w stanie lanym, badane materiały w zastosowaniach praktycznych z zdecydowanej większości (z wyjątkiem stopów powłokowych) są obrabiane cieplnie i plastycznie. Powstaje wątpliwość, czy ten stop po obróbce cieplnej i plastycznej, nie zmieni na tyle swoich oczekiwanych cech, że przeniesienie uzyskanych wyników i sformułowanych wniosków na materiał obrabiany cieplnie i plastycznie staje się zbyt ryzykowne, a może nawet niemożliwe?. Proszę o komentarz w tej sprawie.
- B. Czy wnioskowanie o kruchości stopu, powszechne w rozprawie na podstawie struktury oraz statycznej próby rozciągania jest dostatecznie pewne bez badań udarność i odporności na pękanie?
- C. Stwierdzenie na str. 46 „Badania przeprowadzono dla co najmniej trzech próbek każdej analizowanej kompozycji stopu, w celu zapewnienia powtarzalności wyniku” budzi wątpliwości. Liczność próbek jest funkcją przyjętego współczynnika istotności oraz rozrzutu wyników pomiarów. Rozumiem stronę ekonomiczną w tym przypadku, ale do poprawnego wnioskowania odpowiednia liczba powtórzeń jest niezbędna.

W rozprawie doktorskiej jest to szczególnie istotne, najważniejszym celem rozprawy doktorskiej jest udowodnienie kompetencji w samodzielności badawczej. Proszę o komentarz w tej sprawie.

D. Bardzo zwiększyłyby wartość rozprawy przeprowadzenie badań właściwości stopu $Al_{0,7}CoCrFeNiTi_{0,05}$ po obróbce plastycznej i wyżarzaniu. Jest to tym bardziej ważne, że znana jest silna „wrażliwość” badanego stopu bazowego na modyfikację tytanem, w tym jego strukturę fazową, morfologię, rozdrobnienie ziarna, kruchość i in. Proszę o komentarz w tej sprawie.

Uwagi te nie obniżają znacząco mojej pozytywnej oceny rozprawy jako całości. Formułuję je przede wszystkim z myślą o edukacyjnej warstwie rozprawy, także z potrzeby zwrócenia uwagi doktorantce o potrzebie takich badań. Byłoby to ważnym elementem oceny zaproponowanego stopu jako materiału konstrukcyjnego.

E. Usterki i uwagi redakcyjne

Rozprawa, w ocenie ogólnej napisana jest na dobrym poziomie, stosowano właściwą terminologię, zdania są zrozumiałe i pisane poprawnym technicznie językiem. Są jednak niezbyt liczne usterki, także mniej istotne uwagi, niektóre z nich, dla utrzymania standardów recenzowania rozpraw doktorskich, przedstawiam poniżej:

- doktorantka używa w rozprawie licznych skrótowców (akronimów), dla czytelności rozprawy korzystnie byłoby dołączyć ich wykaz,
- wielokrotnie w rozprawie doktorantka używa określenia „materiały pracują....”, w pracach naukowych należy unikać takich skrótów myślowych, należało napisać np. „materiały są eksploatowane.....”,
- na str. 39 doktorantka przedstawia cele szczegółowe rozprawy, w tym „opracowanie składu stopu do określonych zastosowań inżynierskich”, słowo „określone” to zbyt ogólne stwierdzenie, nie doprecyzowano w rozprawie jakich konkretnie zastosowań to dotyczy,
- należy unikać jednostek spoza układu SI, np. [mbar], str. 42,
- na rys. 3.3, str. 45 należało doprecyzować rozmiar szerokości i wysokości zginanej belki, od tego zależy wskaźnik wytrzymałości na zginanie, można się wprawdzie domyślać (24x3,5x1,5)mm, że ta wysokość to 1,5 mm, ale w opisie badań naukowych ważna jest precyzja a nie domysły,
- na rys. 3.4 str. 47 należało podać grubość próbki wiosełkowej,
- na rys. 4.29, 4.30 i 4.31 (str. 80, 81) opis osi nie jest czytelny,
- czy obliczanie odchylenia standardowego (rys. 4.21, 4.23) przy próbie 3-elementowej jest zasadne?

5. Ocena osiągnięć doktorantki w aspekcie wymagań prawnych

Biorąc pod uwagę ocenę rozprawy w kontekście spełniania wymagań w rozumieniu Art. 186 pkt 1-5 oraz 187 pkt 1- 4 Ustawy o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia z dnia 20 lipca 2018 roku, Dziennik Ustaw RP z dnia 30 sierpnia 2018 roku, poz. 1668, jak też standardy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku, Dziennik Ustaw RP z 30 stycznia 2018 roku, poz, 261, w sprawie szczegółowego trybu

i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, należy stwierdzić, że doktorantka spełniła te wymagania poprzez:

1. Skuteczne i na dobrym poziomie, w aspekcie wymagań prawnych, rozwiązanie problemu naukowo-technicznego, o charakterze analityczno-eksperymentalnym, poprzez autorskie opracowanie składu chemicznego stopu wysokoentropowego opartego o stop bazowy AlCoCrFeNi.
2. Doktorantka wykazała się adekwatną do standardów przewodu doktorskiego wiedzą ogólną i szczegółową, odpowiadającą specyfice dyscypliny „inżynieria mechaniczna”, w której ubiega się o stopień naukowy doktora. Wiedza ta zawarta jest w analizie piśmiennictwa, realizowanym procesie badawczym, kompetentnie zaplanowanym i zrealizowanym eksperymencie oraz dyskusji otrzymanych wyników.
3. Doktorantka wykazała, że potrafi samodzielnie formułować zadania badawcze, logicznie zaplanować konieczne prace, przeprowadzić serię eksperymentów oraz kompetentnie przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników.

Analizując wiedzę zawartą w rozprawie doktorskiej oraz cytowanym piśmiennictwie, także w oparciu o charakter prowadzonych eksperymentów, nie ulega wątpliwości, że jest ona dobrze skorelowana z istotą dyscypliny inżynieria mechaniczna. Należy także podkreślić, że specyfika tej pracy w dużym stopniu jest także skorelowana z dyscypliną „inżynieria materiałowa”. W inżynierii wytwarzania te obszary wiedzy są bardzo bliskie i wzajemnie się uzupełniają. W efekcie całościowego spojrzenia na ocenianą rozprawę doktorską uważam, że stanowi ona wartościowe opracowanie o charakterze naukowym i aplikacyjnym, wzbogaca wiedzę doktorantki w ważnym obszarze inżynierii mechanicznej, jest też dowodem na wartościowe kompetencje autorki w obszarze nowoczesnego projektowania i wytwarzania materiałów.

6. Wniosek końcowy

Przeprowadzone prace studialne, analiza teoretyczna, i przeprowadzone, według własnych i merytorycznie zaawansowanych koncepcji, prace analityczne i badawcze, w odczuciu opiniującego stanowią część ważnej problematyki w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Uważam, że wykonanie tej pracy wzbogaca wiedzę doktorantki o złożonych zjawiskach w procesie wytwarzania nowoczesnych stopów wysokoentropowych, w tym ich modyfikacji oraz zaawansowanych badań.

Analizowana rozprawa doktorska, w przekonaniu opiniującego, w dobrym stopniu spełnia wymagania w rozumieniu przepisów prawa przedstawionego w pkt. 5 recenzji i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Marzeny Tokarewicz do jej publicznej obrony w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.