

dr hab. inż. Andrzej Nowotnik
Katedra Nauki o Materiałach
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska
ul. Żwirki i Wigury 4, 35-959 Rzeszów

Rzeszów, 06 wrzesień 2023 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. DAMIANA MIGASA pt. „Efekt wybranych pierwiastków reaktywnych na wysokotemperaturowe utlenianie nadstopów kobaltu typu $\gamma-\gamma'$ ”. Podstawa opracowania recenzji: pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, Pani prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej z dnia 11 lipca 2023 r.

Ogólna charakterystyka rozprawy

W obliczu dynamicznego rozwoju współczesnych technologii, rosnących wymagań rynku oraz nieustannych poszukiwań nowych, doskonalszych materiałów, dziedzina inżynierii materiałowej pełni kluczową rolę w dostarczaniu innowacyjnych rozwiązań. Jednym z najbardziej wymagających sektorów, który stawia przed obszarem zastosowań metali i stopów metali wyjątkowe wyzwania, jest przemysł lotniczy. W zaawansowanych aplikacjach lotniczych, pracujących w charakterystycznych warunkach środowiskowych, materiały, z których wytwarzane są poszczególne części i podzespoły, nie tylko muszą spełniać rygorystyczne standardy wytrzymałości, ale także sprostać specyficznym kryteriom odporności na skrajne warunki eksploatacji. Przemysł lotniczy to sfera, gdzie jakość materiałów odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu niezawodności systemów gwarantujących bezpieczeństwo lotów. Nowoczesne samoloty, napędzane silnikami charakteryzującymi się coraz wyższymi osiąganiami, prędkością i efektywnością, wymagają zastosowania materiałów, które nie tylko wykazują niski ciężar właściwy, ale także spełniają wymagania zastosowań do pracy w warunkach działania czynników atmosferycznych, wysokiej temperatury, naprężeń cieplnych i mechanicznych oraz w przypadku materiałów stosowanych na podzespoły części gorącej silnika lotniczego, silnie korozyjnego środowiska gazów spalinowych. Ewolucja technologii lotniczych nieustannie wyznacza nowe standardy, w odpowiedzi, na które naukowcy i inżynierowie materiałowi podejmują się realizacji badań zmierzających do opracowania nowych technologii i procesów kształtujących właściwości stopów metali pozwalających spełnić te wyjątkowe oczekiwania.

W tym kontekście, praca doktorska Pana mgr. inż. Damiana Migasa pt.: *"Efekt wybranych pierwiastków reaktywnych na wysokotemperaturowe utlenianie nadstopów kobaltu typu $\gamma-\gamma'$ "* stanowi istotne osiągnięcie w dziedzinie opracowań nowych rozwiązań

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny
Inżynieria Materiałowa

wpłynęło dnia M. 08. 2023

ca

z obszaru materiałów lotniczych. Autor w swojej pracy skupia się na badaniu wpływu pierwiastków ziem rzadkich (które określa jako reaktywne) na proces utleniania nadstopów kobaltu γ - γ' . Zrozumienie mechanizmów degradacji mikrostruktury i kontrola procesów mających wpływ na ich właściwości mechaniczne i użytkowe ma szczególne znaczenie dla zapewnienia jakości i trwałości części i podzespołów stosowanych w zaawansowanych konstrukcjach lotniczych. Przemysł lotniczy staje w obliczu coraz to większych wymagań, dlatego takie badania mają potencjał do stworzenia nowych, zaawansowanych materiałów, które spełniać będą oczekiwania tego wyjątkowego rynku.

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Migasa pt. „*Efekt wybranych pierwiastków reaktywnych na wysokotemperaturowe utlenianie nadstopów kobaltu typu γ - γ'* ” stanowi opracowanie charakteryzowanych zagadnień uściślonych w jej tytule. Dotyczy badań wpływu wybranych pierwiastków tzw. reaktywnych na proces wysokotemperaturowego utleniania nadstopów na osnowie kobaltu. Rozprawa doktorska jest obszerną i starannie przygotowaną pracą, zawierającą wyniki zrealizowanych badań, która wnosi istotny wkład w dziedzinę materiałoznawstwa i inżynierii materiałowej w zakresie charakteryzacji właściwości fizycznych stopów kobaltu modyfikowanych dodatkami pierwiastków ziem rzadkich, analizy morfologii składników fazowych mikrostruktury stopów, warstw tlenkowych oraz obszarów na granicy podłoże stopu Co-zgorzelina, także oceny wpływu składu chemicznego na odporność na utlenianie stopów Co-Al-W w wysokiej temperaturze, determinującej możliwość ich zastosowania w produkcji z przeznaczeniem na elementy konstrukcji dla przemysłu lotniczego. Wyniki badań prowadzonych przez Pana mgr. inż. Damiana Migasa stanowiły podstawę opracowania danych pozwalających ocenić kinetykę utleniania stopów o określonym składzie chemicznym z dodatkami La, Nd, Dy i Y, które mogą przyczynić się do optymalizacji technologii kształtujących ich właściwości mechaniczne i fizyczne gwarantujących osiągnięcie zakładanych przez przemysł lotniczy wymagań zdefiniowanych w normach określających ich zastosowanie na elementy pracujące w agresywnym środowisku gazów utleniających, w temperaturze powyżej 700°C, co również zostało opisane w recenzowanej pracy. Ważnym osiągnięciem działalności badawczej Pana Damiana Migasa jest opracowanie wyników badań, które dotyczą charakteryzacji nadstopów z dodatkami pierwiastków ziem rzadkich po procesie odlewania, po obróbce cieplnej oraz po przeprowadzonych próbach utleniania izotermicznego i cyklicznego z uwzględnieniem wykonania pełnej analizy cieplnej, jak i również kompleksowej analizy mikrostruktury obejmującej badania metalograficzne przy zastosowaniu mikroskopii optycznej oraz elektronicznej mikroskopii skaningowej i transmisyjnej. Praca prezentuje kompleksowe podejście do procesu modyfikacji składu chemicznego nadstopów Co w odniesieniu do uzyskania wymaganej odporności na działanie czynników zewnętrznych, zwłaszcza podczas eksploatacji gotowych produktów, do których należą części gorącej strefy silnika lotniczego przy uwzględnieniu osiągnięcia zakładanych właściwości jakościowych

i wytrzymałościowych, wynikających z powstałej mikrostruktury w układach równowagowych. Realizacja badań z obszaru odlewania nadstopów oraz metod kształtowania ich właściwości w kontekście możliwości ich zastosowania na coraz bardziej wymagające, w odniesieniu do zakresu oddziaływania temperatury oraz naprężeń zmiennie-cyklicznych, części lotniczych, wciąż należą do istotnych w kontekście rozwoju dyscypliny inżynierii materiałowej, gwarantując jednocześnie rozwój tej gałęzi przemysłu. Wynika to przede wszystkim ze szczególnych parametrów eksploatacyjnych nadstopów charakteryzujących się wyjątkową kombinacją właściwości mechanicznych i fizycznych w wysokiej temperaturze. Stąd, bardzo ważne jest prowadzenie działań projektowych z obszaru optymalizacji ich składu chemicznego, opracowania warunków procesów decydujących o uzyskaniu wymaganych właściwości, zwłaszcza tych, które decydują o ich odporności na korozję, utlenianie wysokotemperaturowe, w kontekście osiągnięcia większej efektywności, niższych kosztów produkcyjnych, ale przede wszystkim lepszej jakości wytwarzanych produktów. Istotne jest również, zwłaszcza w dobie wprowadzanych globalnie restrykcji środowiskowych, uwzględnienie w tych pracach aspektów ekologicznych. Zastosowanie rozwiązań materiałowych w zakresie modyfikacji składu chemicznego czy procesów kształtujących mikrostrukturę, a więc decydujących o osiągnięciu podwyższonej odporności na oddziaływanie czynników korozyjnych i utleniających pozwalają na bardziej efektywne wykorzystanie materiałów i mogą przyczynić się do zmniejszenia ilości braków w samym procesie produkcyjnym, ale i również w czasie ich eksploatacji ze względu na wydłużony czas użytkowania. Dzięki temu mają one potencjał do przyczynienia się do zrównoważonego rozwoju przemysłu. Zrozumienie podstawowych mechanizmów degradacji nadstopów jest kluczem do dalszej optymalizacji procesów modyfikacji ich składu chemicznego, decydujących o zastosowaniu w aplikacjach lotniczych. Prowadzone badania w tym zakresie, kluczowe dla dalszego rozwoju dyscypliny inżynierii materiałowej, a więc i przemysłu metalurgicznego czy konstrukcyjnego, dostarczają danych decydujących o możliwości zastosowania opracowanych innowacji w praktyce produkcyjnej. Zainteresowanie tymi obszarami na poziomie doktoratu oraz analiza danych literaturowych, przeprowadzona również przez Pana mgr. inż. Damiana Migasa potwierdza ich aktualność i znaczenie w kontekście globalnych potrzeb rynku lotniczego. Zatem, w mojej ocenie zagadnienia naukowo-badawcze podjęte w opiniowanej rozprawie są istotne dla rozwoju dyscypliny inżynierii materiałowej. Aktualny stan wiedzy z zakresu procesów kształtowania materiałów lotniczych, a więc nadstopów wskazuje, że procesy umożliwiające modyfikować skład materiału poprzez wprowadzenie dodatków stopowych w postaci pierwiastków ziem rzadkich, decydujących o zmianach właściwości wynikających z mikrostruktury kształtowanej w czasie odlewania, ale i również zabiegów obróbki cieplnej gotowych produktów, stanowią istotne wyniki gwarantujące postęp techniczny i wyznaczające kierunek rozwoju technologii materiałowych wykorzystywanych w procesach wytwarzania elementów i podzespołów silników lotniczych.

Ze względu na specyfikę środowiska, w jakim działają silniki lotnicze, materiały te muszą wykazywać szczególną odporność na czynniki korozyjne i utleniające. Rozwój innowacyjnych materiałów i technik wytwarzania podzespołów silnika lotniczego wymaga więc ciągłego poszerzania wiedzy z obszaru charakterystyki nadstopów w stanie dostawy, a zwłaszcza elementów wykonanych z tych materiałów po długim czasie eksploatacji w skrajnych warunkach oddziaływania temperatury i czynników korozyjnych i utleniających. Kluczowym elementem jest tu zastosowanie metod oceny właściwości, które weryfikują procesy zapewniające wytworzenie produktu o oczekiwanych właściwościach. Oceniając pracę, należy potwierdzić, że w zakresie prowadzonych analiz Pan Damian Migas wykonał kompleksową charakterystykę procesu utleniania nadstopów modyfikowanych pierwiastkami ziem rzadkich, przy wykorzystaniu zaawansowanych metod badawczych.

W swojej pracy Pan Damian Migas wykazał się wiedzą z zakresu optymalizacji składu chemicznego oraz procesów kształtujących mikrostrukturę, a więc i właściwości nadstopów, zwłaszcza przy wykorzystaniu technologii odlewniczych oraz obróbki cieplnej, co wymagało od Niego głębokiej wiedzy z zakresu nauki o materiałach. Uzyskane wyniki stanowią cenną wiedzę inżynierską poszerzającą zbiór istniejących danych literaturowych z obszaru degradacji materiałów lotniczych. Jest on niezbędny do opisu i zrozumienia ograniczeń związanych z szerokim zastosowaniem tych materiałów w praktyce inżynierskiej. Prace prowadzone przez Pana Damiana Migasa w obszarze inżynierii materiałowej są niezwykle ważne i mają potencjał do definiowania kierunku rozwoju nowych technik kształtowania materiałów o unikalnych właściwościach. Jednocześnie wskazują, że w obszarze badań dotyczących oceny kinetyki utleniania stopów na osnowie Co i w ustaleniu stopnia synergii oddziaływania czynników charakteryzujących ich strukturę i mikrostrukturę, mechanizmów utleniania oraz czynników technologicznych procesów wytwarzania jest wiele sprzeczności w ocenie ich wpływu. Dlatego, stwierdzam, że zagadnienia naukowo-badawcze podjęte w opiniowanej rozprawie doktorskiej są aktualne w inżynierii materiałowej i w pełni uzasadnione, a ich wpływ na rozwój dyscypliny, zwłaszcza w obszarze materiałów przeznaczonych do pracy w wysokiej temperaturze, bardzo ważny.

Ocena rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Migasa pt. „*Efekt wybranych pierwiastków reaktywnych na wysokotemperaturowe utlenianie nadstopów kobaltu typu $\gamma-\gamma'$* ” napisana w języku angielskim (tytuł: „*Effect of selected reactive elements on high temperature oxidation behavior of $\gamma-\gamma'$ Co-based superalloys*” stron 120) składa się z 7 rozdziałów, wykazu literatury, spisu publikacji i wystąpień konferencyjnych wynikających bezpośrednio z prowadzonych badań przez Pana Damiana Migasa, także streszczeniem pracy w języku angielskim i polskim. Wykaz cytowanych pozycji literaturowych dla przedstawionego opisu syntetycznego stanu zagadnienia w świetle dotychczasowych osiągnięć

naukowych uwzględniających krajowe i światowe wyniki badań realizowanych przez jednostki naukowo-badawcze, obejmuje 182 pozycji w dobrym stopniu charakteryzującym stan wiedzy związanej z tematyką rozprawy. Analiza treści rozprawy wskazuje, że można wyróżnić trzy jej podstawowe części:

1) charakterystyki dotychczasowego stanu wiedzy zarówno w zakresie:

- nadstopów, ze szczególnym uwzględnieniem stopów na osnowie kobaltu oraz opracowań odnoszących się do opisu zjawiska wysokotemperaturowego utleniania tych stopów, z uwzględnieniem kinetyki i mechanizmów degradacji w warunkach oddziaływania środowiska utleniającego,

- wpływu dodatków stopowych, w tym metali ziem rzadkich (tzw. pierwiastków reaktywnych RE) na odporność stopów na osnowie Co na procesy degradacji powierzchni,

2) badania własne – metodyka ich prowadzenia i analiza wyników – dobór i charakterystyka materiałów - wybrano stop γ - γ' do badań o składzie Co-9Al-9W, jako stop referencyjny do badań wpływu pierwiastków RE na właściwości stopów Co z mikrostrukturą γ - γ' . Wstępne badania dotyczyły dwóch stopów z dodatkami RE o stopniach utlenienia III i IV. Udowodniono, że dodatki podwyższają właściwości przeciwutleniające stopów. Do szczegółowych badań wybrano cztery pierwiastki: La, Nd, Dy, Y. Stop referencyjny oznaczono jako "0RE", a pozostałe stopy odpowiednio jako "0.1La", "0.1Nd", "0.1Dy", "0.1Y".

4) dyskusja wyników oraz podsumowanie i wnioski.

W części pierwszej rozprawy, zgodnie z jej tematyką i przeznaczeniem, Doktorant zawarł najważniejsze informacje dotyczące właściwości nadstopów, jak i technologii ich wytwarzania w procesie odlewania precyzyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem stopów na osnowie kobaltu. Przegląd aktualnego stanu wiedzy dotyczącego wpływu RE na stopy na osnowie Co, zwłaszcza nowej generacji, wykazał braki w zakresie ich charakterystyki i oceny wpływu dodatków stopowych na właściwości fizyczne i mechaniczne. Pan Damian Migas potwierdził w części literaturowej, że dostępne dane dotyczą jedynie podstawowych informacji na temat badań prowadzonych na stopach kobaltu domieszkowanych pierwiastkami ziem rzadkich, jak i również opisu wpływu tych pierwiastków na ich właściwości eksploatacyjne. Istniała zatem luka w aktualnym stanie wiedzy, która wymagała wykonania badań umożliwiających osiągnięcie wyników, które Doktorant opisał w swojej pracy. Jako punkt wyjścia planowanych badań w zakresie modyfikacji stopów na osnowie kobaltu, Pan Damian Migas wybrał stop referencyjny Co-Al-W, który modyfikował poprzez wprowadzanie Nd, La, Dy oraz Y. Głównym celem pracy było więc przeprowadzenie badań wpływu dodatków RE na procesy degradacyjne w warunkach środowiska utleniającego stopu Co-9Al-9W (at%), poprzez ocenę ewolucji mikrostruktury stopu modyfikowanego pierwiastkami RE w stanie dostawy oraz po obróbce cieplnej. Na podstawie przeglądu literatury, dogłębnej analizy obecnego stanu zagadnienia Doktorant sformułował tezę pracy, która brzmi: „Wprowadzenie pierwiastków reaktywnych, takich jak La, Nd, Dy lub Y, do stopu Co-9Al-9W (at%) może poprawić jego

odporność na cykliczne i izotermiczne utlenianie w wysokiej temperaturze, przy jednoczesnym braku oddziaływania w sposób znaczący na mechanizm utleniania". W celu potwierdzenia tezy Doktorant opracował plan badań, który zawierał m.in.: dobór materiałów i przygotowanie stopów do badań, poprzez wprowadzenie dodatków stopowych, próby utleniania w wysokiej temperaturze, w tym: próby utleniania izotermicznego i cyklicznego, badania mikrostruktury stopów obejmujące: elektronową mikroskopię skaningową (SEM) oraz mikroskopię elektronową transmisyjną (STEM), kalorymetrię różnicową skaningową (DSC), mikroskopię świetlną (LM), pomiary twardości, analizy fazowe z użyciem dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), badania składu chemicznego oraz modelowanie CALPHAD. W rozdziale 4 Autor zamieścił wyniki prowadzonych badań, z uwzględnieniem analizy mikrostruktury stopów na osnowie Co po próbach utleniania, w stanie po odlaniu oraz po obróbce cieplnej. Przedstawiona analiza wyników dotyczy głównie oceny wpływu dodatków stopowych RE na mikrostrukturę modyfikowanych stopów Co w warunkach oddziaływania środowiska utleniającego. Analiza uzyskanych wyników badań z zastosowaniem metod skaningowej mikroskopii elektronowej umożliwiła Doktorantowi ustalenie wpływu pierwiastków ziem rzadkich oddziałujących na morfologię składników fazowych mikrostruktury badanych stopów wytworzonych w procesie odlewania, co może stanowić podstawę opracowania stopów Co o prognozowanych właściwościach fizycznych. Przedstawione w tym zakresie wyniki badań i rezultaty prowadzonej ich analizy uznają za szczególnie istotne uzupełnienie aktualnego stanu wiedzy w obszarze charakteryzacji składników fazowych występujących podczas przemian fazowych w nadstopach na osnowie Co modyfikowanych dodatkami, które mogą determinować odporność tych stopów na działanie czynników degradujących mikrostrukturę. W części dotyczącej analizy cieplnej Autor wyznaczył wartości temperatury solidus i liquidus, jak również wartości temperatury dla przemian fazowych w badanych stopach (0.1La, 0.1Nd, 0.1Dy, i 0.1Y). Na podstawie wykonanych analiz cieplnych dokonano oceny wpływu dodatków RE na wartość temperatury topnienia i krystalizacji. Wyniki wskazują, że wprowadzenie RE może znacząco obniżyć temperaturę solidus stopów, a wprowadzenie Al, W lub obu tych pierwiastków do stopu Co-Y wpływa na temperaturę tworzenia faz fcc-Co i Y-Co. Wyniki badań DSC wykazały efekty endotermiczne, które mogą być związane z topnieniem się faz bogatych w RE, co sugeruje, że obecność RE w stopach Co może wpływać na ich właściwości cieplne i przemiany fazowe. Autor prezentuje w tym rozdziale wyniki, które dostarczają danych umożliwiających zrozumienie, jak poszczególne dodatki wpływają na właściwości cieplne stopów. Autor nie ogranicza się do jednego aspektu analizy, ale bierze pod uwagę wiele związanych z nią zagadnień, takich jak wpływ zawartości RE, wpływ innych pierwiastków oraz dokonuje w sposób prawidłowy interpretacji wyników w kontekście potencjalnych zastosowań. W rozdziale dotyczącym analizy wyników z prób utleniania stopów na osnowie Co, Autor przedstawia wyniki badań dotyczące zmian właściwości podczas utleniania wysokotemperaturowego, korzystając z dobrze zdefiniowanych metod oceny wpływu cykli

cieplnych, takich jak wartość k_p czy zmiany masy w odniesieniu do czasu. Przedstawiono w tej części pracy porównanie wyników dla stopów charakteryzujących się różną zawartością pierwiastków RE, co pozwala ocenić, które z nich wykazują wyższą odporność na procesy degradacyjne. W ostatniej części rozdziału przedstawiającego wyniki prowadzonych prac, Doktorant dokonał analizy warstw tlenkowych powstałych podczas utleniania izotermicznego, na podstawie których stwierdził, że wszystkie badane materiały wykazywały podobny mechanizm wzrostu warstw tlenkowych. Istniały jednak pewne nieznaczne różnice związane z obecnością RE w stopach, zwłaszcza w przypadku stopów 0,1La i 0,1Nd.

W rozdziale 5. (*Dyskusja*) zawarto podsumowanie wyników wykonanych badań. Doktorant, mgr inż. Damian Migas wykazuje, że wyniki badań metalograficznych, cieplnych analiz DSC, prób utleniania i badań mikrostruktury stopów oraz warstw tlenkowych stanowią pełne uzasadnienie dla uzyskanych i sformułowanych wniosków o charakterze poznawczym i aplikacyjnym w zakresie oceny możliwości zastosowania stopów Co modyfikowanych pierwiastkami ziem rzadkich w praktyce metalurgicznej. Przeprowadzone badania dostarczyły nowych danych na temat powstawania i charakterystyki określonych faz w stopach domieszkowanych metalami ziem rzadkich. W literaturze np. wciąż brakuje publikacji opisujących zachowanie się stopów z domieszką Nd podczas utleniania oraz opracowań z obszaru opisu kinetyki utleniania stopów Co uwzględniającą kinetykę przemian fazowych w czasie prowadzonych prób w warunkach środowiska utleniającego. Otrzymane wyniki, przedstawione w pracy podkreślają potrzebę realizacji dalszych badań. Autor podkreśla w podsumowaniu swojej pracy, że dodatek RE, takich jak La, Nd, Dy i Y, może poprawić odporność na izotermiczne utlenianie stopów Co-Al-W. Obecność pierwiastków ziem rzadkich w stopach Co prowadzi do powstania szerszych stref wewnętrznego utleniania w porównaniu do stopu Co-9Al-9W, bez znaczącej zmiany w mechanizmie utleniania. Mechanizm utleniania różni się od stopów, które tworzą na swojej powierzchni warstwę tlenku aluminium, która skutecznie chroni je przed dalszym utlenianiem. Warstwa tlenku we wszystkich badanych stopach rośnie zarówno na zewnątrz, jak wewnątrz materiału, prowadząc do powstania zewnętrznej warstwy tlenku oraz strefy wewnętrznego utleniania zawierającej szeroką wewnętrzną warstwę tlenku. Autor podkreśla, że poprawiona odporność na utlenianie zaobserwowana w stopach modyfikowanych pierwiastkami ziem rzadkich, w temperaturze 900°C może być związana z tworzeniem się bardziej rozwiniętych wewnętrznych stref wydzielania w porównaniu do stopu odniesienia, a następnie zwiększonym utlenianiem Al. Podczas utleniania stopów Co-Al-W z dodatkiem RE nie stwierdzono segregacji RE, a tlenki RE powstawały tylko w wyniku wewnętrznego utleniania lub w wyniku reakcji w stanie stałym w warstwie tlenkowej. Dyfuzja oraz wewnętrzne utlenianie mogą być ułatwione przez obecność faz bogatych w pierwiastki ziem rzadkich (RE) na granicach ziaren w stopach z dodatkiem RE. Fazy te mogą tworzyć preferencyjne ścieżki dyfuzji wzdłuż granic ziarn. Pierwiastki La, Nd, Dy i Y mogą reagować z siarką tworząc stabilne siarczki RE, które mogą

ograniczać aktywność siarki w stopach Co-Al-W. Może to przyczynić się do zmiany charakteru utleniania stopów. Autor potwierdza, że w stopach Co-Al-W pierwiastki reaktywne nie rozpuszczają się w osnowie i tworzą na granicach ziaren fazy międzymetaliczne, które nie są koherentne z γ -Co i γ' -Co₃(Al, W). Sformułowane wnioski, potwierdzają, że wprowadzenie pierwiastków reaktywnych do nowych nadstopów na bazie Co ma potencjał do wytworzenia materiałów charakteryzujących się niespotykanymi dotychczas właściwościami. Autor wskazuje również, że wymagane jest prowadzenie dalszych badań nad domieszkowaniem stopów pierwiastkami ziem rzadkich, które oprócz wpływu na odporność na procesy utleniania, mogą również wpływać na inne cechy jakościowe i użytkowe stopów Co.

Rozdziały części badań własnych rozprawy potwierdzają prawidłową organizację zaplanowanych i realizowanych badań eksperymentalnych, których wyniki opisano w sposób wyczerpujący.

Podsumowanie i ocena rozprawy

Analiza treści rozprawy doktorskiej mgr. inż. Damiana Migasa zawierająca wyniki badań własnych pozwala stwierdzić, że spełnione zostały założone cele realizowanych jej kolejnych zadań badawczych. Opracowano metody modyfikacji stopów Co pierwiastkami reaktywnymi RE, parametry technologii ich wytwarzania oraz poprawnie stosowano odpowiednie metody badań dla charakteryzacji mikrostruktury i cieplnych stopów oraz prawidłowo opisano wyniki ich badań.

Stwierdzam, że przyjęty sposób prowadzenia dyskusji wyników jest na dobrym poziomie. Doktorant prawidłowo definiuje cele badawcze dla stopu referencyjnego oraz stopów Co domieszkowanych pierwiastkami ziem rzadkich, opisuje główne wyniki badań niezbędne dla realizacji przyjętych celów prac w kolejnych zastosowanych technikach badawczych z uwzględnieniem analiz cieplnych, badań mikrostruktury i prób utleniania w warunkach wysokiej temperatury. Potwierdza bardzo dobrą znajomość zagadnień związanych z tematyką rozprawy. Przedstawiony opis wyników badań, prowadzonych analiz i dyskusji potwierdza umiejętność Pana Damiana Migasa do formułowania problemów badawczych o interdyscyplinarnym charakterze oraz ich rozwiązywania.

Osiągnięcia naukowe scharakteryzowane w rozprawie, uważam za nowatorskie i o dużym znaczeniu dla rozwoju nadstopów na osnowie kobaltu. Uzyskane wyniki prowadzonych przez Pana mgr. inż. Damiana Migasa mają zdecydowanie charakter poznawczy w zakresie opisu wyników badań stopów po próbie utleniania. Rozprawę doktorską przedstawioną do oceny przygotowano prawidłowo, choć stwierdzono występowanie w treści błędów dotyczących terminologii i słownictwa technicznego, jednakże nie wpływają one na obniżenie poziomu pracy. Dodatkowo, w swojej pracy Autor skupił się na wytworzeniu stopów modyfikowanych pierwiastkami metali ziem rzadkich, następnie zbadał ich skład chemiczny. Jednakże warto podkreślić, że wykorzystanie techniki XRF do wykrywania obecności tych

metali na poziomie jedynie 0,1% może stanowić pewne wyzwanie związane z precyzją pomiaru. Tak niska zawartość pierwiastków, choć wykrywalna, może być wrażliwa na błędy wskazane przez XRF, co z kolei może wpływać na formułowane przez Autora wnioski dotyczące wpływu tych pierwiastków na właściwości stopu, zmian w jego mikrostrukturze podczas obróbki cieplnej oraz podczas prób utleniania.

W podsumowaniu mojej opinii stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Migasa prezentuje wysoki poziom naukowy, co wynika przede wszystkim z połączenia badań o charakterze podstawowym z pracami badawczo-rozwojowymi. Osiągnięcie naukowe stanowi opracowanie zagadnień określonych w celu rozprawy i ma cechy nowości w zakresie charakteryzacji mikrostruktury, analiz cieplnych po próbach utleniania stopów Co modyfikowanych pierwiastkami ziem rzadkich. Praca przygotowana jest na bardzo dobrym poziomie merytorycznym, metodycznym i redakcyjnym. Pan Damian Migas w pełni zrealizował postawiony w pracy cel naukowy i dowiódł słuszności badawczej tezy uzyskując wyniki badań, które mają istotne znaczenie użytkowe. W mojej ocenie wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. są w pełni spełnione. Stąd wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Damiana Migasa do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej.

