

Kraków, 23 grudnia 2023 roku

Recenzja rozprawy doktorskiej
Mgr Moniki Duchny
pt.
„Wytworzenie stopu niklu Inconel 713C z renem metodą
przyrostową w celu zwiększenia właściwości użytkowych”

Promotor rozprawy: Prof. dr hab. inż. Jarosław Mizera

Recenzja wykonana na podstawie pisma
Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej
Prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej.

1.0. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy zagadnień związanych z kształtowaniem właściwości stopu Inconel 713C należącego do grupy nadstopów na osnowie niklu pod kątem poprawy ich właściwości mechanicznych oraz eksploatacyjnych. W szczególności, recenzowana rozprawa poświęcona jest badaniom polegającym na modyfikacji składu chemicznego ww. stopu poprzez domieszkowanie renu oraz zastosowanie alternatywnej do tradycyjnie stosowanej w przypadku Inconel 713C technologii odlewania, technologii SLM (Selective Laser Melting) w celu osiągnięcia wyższych właściwości wytrzymałościowych oraz żaroodporności materiału.

Powszechnie wiadomo, że stopy niklowe są używane w przemyśle lotniczym, chemicznym, energetyce i innych wymagających branżach. Stopy Inconel zostały opracowane w 1956 roku w laboratoriach badawczych Inco w Stanach Zjednoczonych i stanowią nadal atrakcyjny i pożądany dla gospodarki materiał. Jest to efekt atrakcyjnego zespołu właściwości ww. stopów tj. wysokiej

- i co najważniejsze - stabilnej w wysokiej temperaturze wytrzymałości oraz wysokiej odporności na działanie agresywnych środowisk w warunkach wysokotemperaturowych. Dzięki temu materiały te są chętnie wykorzystywane do produkcji komponentów urządzeń i maszyn przeznaczonych do pracy w warunkach wysokotemperaturowych i środowisku korozyjnym. Typowymi aplikacjami ww. materiału są między innymi elementy silników lotniczych czy silników rakietowych pracujących w wysokich temperaturach oraz w agresywnym środowisku spalin, przemysłowe turbiny gazowe i turbiny parowe wykorzystywane w przemyśle energetycznym czy też w przemyśle petrochemicznym. Złożona geometria takich elementów (łopatki i rotory itp.) spowodowały, że aktualnie podstawową techniką wytwarzania ww. komponentów jest proces odlewania (precyzyjnego). Jednak aktualnie z uwagi na ograniczenia procesu odlewania poszukuje się coraz częściej alternatywnych technik wytwarzania elementów, spośród których największe uznanie zyskały technologie przyrostowe. W szczególności chodzi o metodę selektywnego laserowego topienia (Selective Laser Melting - SLM). Jest to stosunkowo młoda technologia rozwijana od ok. 30 lat. Opracowana w 1984r. przez C.Deckarda koncepcja użycia wiązki lasera lub elektronów do selektywnego przetapiania fragmentów warstw sproszkowanego materiału jest cały czas dynamicznie rozwijana. Poprzez odpowiedni dobór parametrów technologii SLM tj. odpowiedniej mocy lasera, prędkości skanowania odległości między ścieżkami skanowania oraz grubości warstwy proszku można wytworzyć elementy o rozbudowanej i zdefiniowanej geometrii. Ponadto powyższa technologia stwarza nowe możliwości modyfikacji właściwości materiałowych.

W ramach pracy doktorskiej ww. zagadnienia stały się podstawą do opracowania szerokiego programu badawczego wytwarzania stopu Inconel 713C o zmodyfikowanym składzie chemicznym przy wykorzystaniu technologii kształtowania przyrostowego SLM w celu uzyskania wyższych właściwości wytrzymałościowych oraz wyższej żaroodporności. Doktorantka uzyskała założony w pracy cel, tj. uzyskała próbki materiału na bazie Inconel 713C domieszkowane renem przy wykorzystaniu technologii przyrostowych (SLM) charakteryzujące się wyższymi właściwościami wytrzymałościowymi oraz wyższą żaroodpornością, tym samym udowodniła korzystny wpływ dodatku renu na ww. właściwości.

2.0. Struktura rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska pt: „Wytworzenie stopu niklu Inconel 713C z renem metodą przyrostową w celu zwiększenia właściwości użytkowych” liczy 221 stron i zawiera 10 głównych rozdziałów, 19 tabeli, 136 rysunków oraz spis literatury obejmujący 278 pozycji. Rozprawa posiada klasyczny układ tj. składa się z części teoretycznej i części eksperymentalnej. Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematyki pracy doktorskiej. Rozdziały o nr 2-6 stanowią teoretyczną analizę stanu zagadnienia tematyki rozprawy na podstawie literatury naukowej i obejmują następujące zagadnienia: a) charakterystyka materiałów będących przedmiotem badań w ramach pracy (rozdział 2 „Polikrystaliczne stopy na osnowie” oraz rozdział 3 pt. „Ren jako pierwiastek poprawiający właściwości użytkowe stopów), b) technologii wytwarzania ww. materiałów (rozdział 4. Synteza mechaniczna oraz rozdział 5. Metoda zol – żel) oraz c) charakterystyka technologii kształtowania przyrostowego ze szczególnym uwzględnieniem metody SLM (rozdział pt. 6. Technologia wytwarzania przyrostowego”).

Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej został sformułowany cel pracy (rozdział nr 7), który polegał na uzyskaniu poprawy „...właściwości eksploatacyjnych w wysokiej temperaturze stopu

IN 713 poprzez domieszkowanie go jonami renu w układzie koloidalnym bazująca na metodzie chemicznej Pechiniego...". W dalszym ciągu Autorka pracy uszczegóławia ww. cel pracy, wskazując na „... uzyskanie lepszej dyspersji renu poprzez zastosowanie domieszkowania w układzie koloidalnym, co powinno przełożyć się na zwiększenie jednorodności mikrostruktury i wyższe właściwości eksploatacyjne domieszkowanego stopu...".

Chcąc zrealizować założony w rozprawie cel poznawczy, Doktorantka opracowała program badań, który obejmował trzy zasadnicze zagadnienia:

- a) dobór odpowiednich warunków procesu domieszkowania proszku stopu niklu Inconel 713C jonami renu metodą chemiczną poprzez zastosowanie syntezy prowadzonej w układzie koloidalnym ...” ze szczególnym uwzględnieniem wartości pH, temperatury i czasu realizacji procesu, rodzaju zastosowanych katalizatorów oraz rozpuszczalników,
- b) optymalizacja parametrów druku 3D przy zastosowaniu procesu SLM próbek z proszku Inconel 713C oraz proszków stopu domieszkowanych renem (IN713:Re7+ 1% at. i 3% at.) oraz
- c) ocena wpływu domieszki renu na właściwości użytkowego stopu Inconel 713C .

Powyższy zakres prac badawczych był możliwy do realizacji dzięki opracowanej pod tym kątem metodyce badawczej, która została zaprezentowana w rozdziale nr 8 pt. „Metodyka badawcza”. W ramach rozdziału zostały zaprezentowane zarówno rodzaje badań związanych z wytwarzaniem jak i identyfikacją właściwości materiałów oraz wykorzystane do tego celu stanowiska badawcze, które były dostosowane do specyfiki każdego z etapów badawczych i w szczególności obejmowały:

- a) w zakresie etapu wytwarzania proszków stopów Inconel 713C - charakterystykę stanowiska badawczego oraz parametry procesu atomizacji,
- b) w zakresie etapu syntezy Pechiniego - komponenty i parametry procesu domieszkowania,
- b) w zakresie etapu wytwarzania próbek w technologii druku 3D parametry zastosowanej metody SLM, oraz stanowiska badawczego w postaci drukarki 3D ,
- c) w zakresie etapu identyfikacji właściwości wytwarzanych proszków - charakterystykę zastosowanych metod badawczych tj. parametry metody dynamic light scattering (DLS), mikroskopii świetlnej, skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), spektroskopii dyspersji energii (EDS), spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR), dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD), metody wyznaczania gęstości próbek metodą Archimedesasa oraz
- d) w zakresie etapu identyfikacji właściwości próbek wytworzonych z stopu Inconel 713C z dodatkiem renu – parametry badania mikrotwardości, żaroodporności oraz wytrzymałości na rozciąganie.

W rozdziale 9 pt. „Wyniki badań i dyskusja” Autorka zaprezentowała uzyskane wyniki badań wraz z ich dyskusją. Rozdział został podzielony na 9 podrozdziałów, w ramach których zostały zaprezentowane wyniki wraz z ich analizą zgodnie z przyjętym w pracy harmonogramem badań. Generalnie wyniki badań dotyczyły procesu wytworzenia proszku stopu Inconel 713C oraz proszku stopu Inconel 713C o zmodyfikowanym składzie chemicznym na drodze atomizacji gazowej, procesu wytworzenia w technologii SLM próbek ze stopu Inconel 713C z różną zawartością renu oraz materiału Inconel 713C uzyskanego tradycyjną metodą odlewania, który stanowił materiał referencyjny i w końcu procesu

identyfikacji właściwości użytkowych i eksploatacyjnych próbek. W szczególności ww. rozdział obejmuje wyniki badań wraz z dyskusją procesu wytwarzania proszku stopu Inconel 713C wraz z jego charakterystyką (podrozdział 9.1), następnie wyniki badań procesu domieszkowania proszku In713C jonami renu odpowiednio z zawartością 1% at. oraz 3% at. (podrozdział 9.2) wraz z charakterystyką uzyskanego materiału (podrozdział 9.3), następnie wyniki badań procesu kształtowania przyrostowego stopów Inconel 713C w technologii SLM z wyszczególnieniem wyników badań polegających na optymalizacji procesu drukowania stopu Inconel 713C, Inconel 713C:Re⁷⁺ (1%at.) oraz Inconel 713C :Re⁷⁺ (3%at.) (podrozdział 9.4), następnie identyfikacja wytworzonych materiałów metodą SLM (podrozdział 9.5-9.6) oraz wyniki badań żaroodporności (podrozdział 9.7), mikrotwardości (podrozdział 9.8) oraz wytrzymałości na rozciąganie (9.9).

Rozprawę kończy rozdział nr 10 pt. "Podsumowanie i wnioski", w którym Doktorantka w sposób syntetyczny podsumowała przeprowadzoną analizę uzyskanych wyników w ramach rozdziału 9. W szczególności Doktorantka udowodniła możliwość wykorzystania metody chemicznej (Pechiniego) jako efektywnej metody domieszkowania proszku stopu Inconel 713C jonami renu dzięki czemu uzyskano homogenicznie rozmieszczone domieszki renu w całej objętości proszku Inconel 713C, skuteczność zastosowanie kształtowania przyrostowego SLM do wytworzenia próbek ze stopów Inconel 713C i Inconel 713C:Re⁷⁺ oraz uzyskany efekt wzrostu właściwości wytrzymałościowych oraz żaroodporności opracowanego materiału. Na koniec rozdziału zostały przedstawione propozycje dalszych badań, których celem byłoby między innymi uzyskanie materiału o wyższej zawartości renu (tj. powyżej 1% at.), zastosowanie podczas procesu SLM podgrzewanej platformy oraz badania wpływu obróbki cieplnej (poprocesowej) na właściwości użytkowe stopu In 713C domieszkowanego renem.

3.0. Ocena rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca stanowi interesujące analityczno-eksperymentalne studium poszukiwań możliwości optymalizacji właściwości stopu Inconel 713C poprzez modyfikację jego składu chemicznego oraz zastosowanie alternatywnej w stosunku do tradycyjnie stosowanego procesu odlewania metody wytwarzania bazującej na technologiach przyrostowych ww. materiałów. Efektywność modyfikacji składu chemicznego poprzez domieszkowanie renu jak i metody wytwarzania stopu Inconel 713C zostały zweryfikowane poprzez ocenę ich właściwości użytkowych (właściwości mechaniczne) i eksploatacyjnych (żaroodporność).

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, zastosowanego przez Doktorantkę kompleksowego podejścia rozwiązania tematu, tj. począwszy od procesu projektowania i wytworzenia materiału wraz z optymalizacją parametrów wytwarzania, poprzez identyfikację właściwości użytkowych materiału i skończywszy na ocenie właściwości eksploatacyjnych. Dzięki temu Doktorantka w swoich badaniach przeprowadziła bardzo interesujący i logiczny wywód naukowy, który umożliwił osiągnięcie zaprezentowanego w pracy celu.

Podjęcie przez Doktorantkę takiej tematyki uważam za prawidłowe i słuszne podejście w szczególności w kontekście: a) możliwości opracowania nowych relacji pomiędzy modyfikacją składu chemicznego stopu Inconel 713C poprzez domieszkowanie renem a właściwościami użytkowymi w szczególności żaroodpornością i podatnością do spawania ww. stopów, b) wykorzystania

nowoczesnych metod wytwarzania (SLM), c) badań właściwości wytworzonych materiałów przy wykorzystaniu specjalistycznych technik badawczych oraz d) w przyszłości próby implementacji uzyskanych wyników do zastosowań w konkretnej aplikacji (lotnictwo) co – w mojej opinii - wzorcowo wpisuje się w podstawową misję badań naukowych, które powinny wykazywać nie tylko cechami poznawczymi, ale i również – użytkowymi.

Cel pracy został sformułowany prawidłowo i jasno określa kierunki badań, które należało zrealizować. Ponadto, zrealizowane badania dotyczą one zarówno aspektów naukowo-badawczych jak również mają istotne znaczenie użytkowe, co Autorka w sposób jednoznaczny podkreśliła w rozprawie.

Na podstawie szczegółowej analizy merytorycznej recenzowanej rozprawy stwierdzam że, do jej mocnych stron należą:

a) Oryginalność tematyki

Tematyka rozprawy dotyczy poszukiwań korelacji pomiędzy modyfikacją składu chemicznego poprzez zastosowanie domieszkowania renu, parametrami kształtowania przyrostowego a właściwościami użytkowymi i eksploatacyjnymi. Zaproponowana w pracy metodyka badawcza łączy nowoczesne podejście projektowania materiałów i ich wytwarzania przy wykorzystaniu nowoczesnych technologii przyrostowych pod kątem uzyskania zdefiniowanych właściwości użytkowych i eksploatacyjnych. Stop Inconel 713C będący przedmiotem recenzowanej rozprawy posiada strategiczne znaczenie dla gospodarki, bowiem stosowany jest w przemyśle lotniczym, energetycznym i petrochemicznym. Powiązanie nowoczesnej metody wytwarzania ww. materiału wraz z kształtowaniem jego właściwości przy wykorzystaniu technologii przyrostowej (SLM) stanowi nowoczesne i oryginalne podejście badawcze, które było świadomym wyborem Doktorantki. Tematyka kształtowania przyrostowego pomimo bardzo dynamicznego tempa rozwoju jest obszarem nie do końca przebadanym i rozpoznany z punktu widzenia zachodzących zjawisk fizycznych oraz mechanizmów, których znajomość umożliwi świadome sterowanie procesami kształtowania przyrostowego różnych materiałów. Stąd też, wysoko oceniam podjęcie przez Doktorantkę ww. tematyki, która jest oryginalna i ambitna, a tym samym wymaga odwagi w realizacji badań oraz co najważniejsze prawidłowej interpretacji uzyskanych wyników.

b) Literaturowa analiza stanu zagadnienia

Na wyróżnienie zasługuje przeprowadzona przez Doktorantkę analiza stanu zagadnienia, która została wykonana na podstawie 278 pozycji literaturowych. Wykonana analiza zdefiniowała zakres tematyczny rozprawy charakteryzując właściwości materiałów na bazie stopów Inconel, wskazując na aktualne problemy oraz ograniczenia stosowanych metod wytwarzania tej grupy stopów, które najczęściej bazują na procesie odlewania, zdefiniowała wymagania stawiane przez branżę lotniczą i motoryzacyjną wykorzystującą ww. stopy do produkcji przede wszystkim elementów silników. Następnie została przedstawiona charakterystyka renu oraz alternatywna do procesu odlewania metoda kształtowania przyrostowego wyrobów ze szczególnym uwzględnieniem techniki SLM (Select Laser Melting). Przeprowadzona analiza literaturowa obejmowała znaczącą liczbę źródeł (278 pozycji), spośród których dominowały artykuły naukowe

publikowane w czasopismach: "Materials Science Engineering", "Superalloys", "Materials research Bulletin", "International Journal of Hydrogen Energy", "Applied Physics Reviews", "The International Journal of Advanced Manufacturing Technology", "Materials" i inne. Z drugiej strony, o wysokiej jakości przeprowadzonej analizy stanu zagadnienia świadczy szeroki zakres rocznikowy źródeł, który obejmował pozycje literaturowe zarówno z roku 1977 jak i z roku 2023. Przy czym najwięcej przytaczanych źródeł pochodzi z okresu 2010-2019, co świadczy o największej naukowej aktywności w zakresie ww. tematyki badawczej w tym okresie. Analizując poszczególne pozycje oraz ich cytowanie w dysertacji należy podkreślić trafność doboru źródeł oraz znakomicie przeprowadzoną krytyczną ich analizę.

c) Badania nad wytworzeniem próbek Inconel 713C z domieszką renu przy wykorzystaniu metody kształtowania przyrostowego gwarantującej uzyskanie poprawy właściwości użytkowych i eksploatacyjnych

Praca posiada charakter doświadczalny, a uzyskane wyniki badań eksperymentalnych stanowią największą wartość recenzowanej pracy. Doktorantka opracowała szeroki program badań eksperymentalnych obejmujący między innymi etap przygotowania i wytworzenia materiału wsadowego w postaci proszku, wytworzenie metodą SLM wraz z optymalizacją parametrów (moc i prędkość wiązki lasera, grubość warstwy proszku itp.) próbek, które zostały w kolejnym etapie poddane badaniom właściwości użytkowych i eksploatacyjnych. W każdym z etapów polegających na wytworzeniu materiału przeprowadzono kontrolę efektywności zastosowanych parametrów procesowych przy wykorzystaniu specjalistycznych technik badań składu chemicznego oraz jakości struktury ze szczególnym uwzględnieniem wielkości i postaci, w jakiej składniki występowały w materiale, ich lokalizacji oraz stopnia dystrybucji w strukturze. Doktorantka na każdym etapie wytwarzania materiału oraz kształtowania jego właściwości kontrolowała efekty, co pozwoliło jej na bieżącą modyfikację procesu badawczego. Stąd też, decyzja o braku sensowności kształtowania przyrostowego materiału Inconel 713C :Re7+ (3%at.) z uwagi na brak uzyskania odpowiedniej gęstości oraz tworzących się w całej objętości licznych mikropęknięć. Dzięki zastosowanej metodyce badawczej Doktorantka uzyskała interesujące z punktu widzenia poznawczego wyniki badań. Na uwagę zasługują analizy strukturalne próbek wytwarzanych metodą SLM w różnych warunkach procesowych tj. dla różnej mocy lasera, prędkości skanowania oraz grubości warstwy proszku. Dyskusja wyników badań struktury jest głęboka i trafna i pozwala Doktorantce na dyskusje nad zjawiskami fizycznymi zachodzącymi podczas procesu laserowego topienia proszków. Doktorantka wykazała, które parametry procesowe są kluczowe z punktu widzenia generowania mikropęknięć w próbkach po procesie SLM.

Rozprawa doktorska Pani mgr Moniki Duchny oprócz wymienionych wyżej zalet posiada również fragmenty, które wymagają podjęcia szerszej dyskusji. Poniżej zostały zaprezentowane uwagi natury merytorycznej, do dyskusji z Doktorantką:

- 1) Autorka pracy podjęła się realizacji badań nad wpływem dodatku renu w ilości 1 i 3% at. Proszę o uzasadnienie takiej zawartości renu, czym był podyktowany wybór takiej zawartości dodatku renu do stopu Inconel 713C w badaniach?
- 2) W jaki sposób można wytłumaczyć stwierdzoną eksperymentalnie przez Doktorantkę obserwację wyższej żaroodporności stopu Inconel 713C z domieszką renu, proszę wskazać mechanizm wpływu domieszki renu na wzrost żaroodporności stopu Inconel 713C?
- 3) Doktorantka w pracy na str.199 stwierdza, że „... próbki stopu IN 713C wytworzone w procesie SLM niezależnie czy posiadały domieszkę renu, charakteryzowały się znikomą plastycznością w porównaniu do próbek odlewu tego stopu. Jednakże próbka stopu IN 713C domieszkowana renem (1 % at.) wykazała niewielką plastyczność w porównaniu do próbki niedomieszkowanej...” Proszę o wskazanie przyczyn takiego stanu, w kontekście przytaczanych przez Doktorantkę wyników literaturowych dla stopu Inconel 718 (por. Tabela 4, str.38), które były wytworzone taką samą jak w dysertacji metodą SLM i wykazują zdecydowanie wyższe właściwości plastyczne w stosunku do materiałów badanych w recenzowanej dysertacji. Proszę o zajęcie przez Doktorantkę stanowiska w tej sprawie, co mogło być przyczyną zróżnicowania wpływu renu na właściwości plastyczne podczas próby rozciągania w podwyższonej temperaturze?
- 4) W przypadku stopu Inconel 713C, który należy do grupy stopów umacnianych wydzieleniowo stosuje się również zabiegi obróbki cieplnej w celu poprawy właściwości mechanicznych. W planowanych dalszych badaniach Doktorantka wspomina o obróbce cieplnej. Jakie zabiegi obróbki cieplnej zdaniem Doktorantki byłyby najkorzystniejsze z punktu uzyskania wymaganych właściwości?
- 5) Aktualnie najczęściej spotykanymi ograniczeniami technologii przyrostowych w zastosowaniu w warunkach przemysłowych są: jakość wyrobu, czas wytwarzania oraz koszty. Jakie zdaniem Doktorantki mogą być korzyści ekonomiczne wykorzystania zaproponowanej w dysertacji metody wytwarzania materiału Inconel 713C z domieszką renu w przemyśle biorąc pod uwagę koszty renu oraz koszty zastosowania technologii addytywnych (SLM) w warunkach przemysłowych?

Powyższe uwagi są oczywiście do dyskusji i nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, którą oceniam bardzo wysoko.

Na podstawie szczegółowej analizy rozprawy pod kątem poprawności językowej oraz edycyjnej można stwierdzić, że praca jest napisana starannie, posiada prawidłowy i logiczny układ, co istotnie ułatwia czytelnikowi lekturę rozprawy. Rysunki oraz tabele są czytelne oraz prawidłowo sformatowane. Szczegółowa weryfikacja rozprawy pod kątem edycyjnym nie wykazała większych uchybień. Z tego punktu widzenia można stwierdzić, że praca jest napisana w sposób wzorcowy.

4.0. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy aktualnej problematyki badawczej i w wielu miejscach wnosi nowe treści o znaczących walorach poznawczych i użytkowych. Doktorantka podjęła się realizacji trudnego zadania polegającego na określeniu wpływu zawartości renu na właściwości stopu Inconel 713C wytworzonego przy wykorzystaniu technologii przyrostowej (SLM) pod kątem poprawy właściwości mechanicznych i eksploatacyjnych (żaroodporności). Cel pracy został osiągnięty.

Recenzowana praca doktorska posiada duże walory naukowo-badawcze, które mogą stanowić już na tym etapie podstawowe wytyczne do wykorzystania w praktyce przemysłowej nowego materiału na bazie stopu Inconel 713C z domieszkowaniem renu gwarantującego spełnienie wyższych parametrów eksploatacyjnych (żaroodporność). Doktorantka wykazała się bardzo dobrym przygotowaniem metodycznym, dobrym warsztatem badawczym oraz szeroką znajomością problematyki rozprawy. Rozprawa zawiera wartościowe wyniki świadczące o kompetencji, umiejętności w planowaniu badań i dążeniu do uzyskania celu na drodze badań naukowych oraz o dużym doświadczeniu Doktorantki w ich realizacji.

Do najbardziej wartościowych osiągnięć naukowych Doktorantki zaliczam a) efektywne wytworzenie materiału na bazie Inconel 713C z domieszkowanym renem do postaci proszku o wysokiej jednorodności, b) określenie warunków efektywnej realizacji procesu SLM pod kątem gwarancji minimalizacji niejednorodności mikrostruktury oraz pojawiania się mikropęknięć oraz c) określenie wpływu zawartości renu na właściwości mechaniczne oraz żaroodporność materiału na bazie Inconel 713C.

Podsumowując, stwierdzam, że opiniowana praca doktorska mgr Moniki Duchny zatytułowana: „Wytworzenie stopu niklu Inconel 713C z renem metodą przyrostową w celu zwiększenia właściwości użytkowych” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce Art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016r. poz. 882 z późn. zm. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) z uwzględnieniem Art. 179 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z późn.zm.).

Na tej podstawie stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



WNIOSEK O WYRÓŻNIENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pani mgr Moniki Duchny

**pt.: „Wytworzenie stopu niklu Inconel 713C z renem metodą przyrostową
w celu zwiększenia właściwości użytkowych”**

Uzyskane w recenzowanej rozprawie wyniki stanowią oryginalny wkład w rozwój wiedzy na temat projektowania i wytwarzania materiałów na bazie stopów Inconel przy wykorzystaniu technologii przyrostowych (SLM). Warto podkreślić, że tematyka pracy dotyczy obszarów, które aktualnie nie są w pełni rozpoznane z punktu widzenia naukowego, a ich problematyka nie jest rozwiązana ostatecznie np. z punktu widzenia doboru parametrów wytwarzania i optymalizacji procesów SLM dla różnych materiałów.

Ponadto, na szczególną uwagę zasługuje fakt, zastosowanego przez Doktorantkę kompleksowego podejścia do rozwiązania tematu, tj. począwszy od procesu projektowania i wytworzenia materiału wraz z optymalizacją parametrów wytwarzania, poprzez identyfikację właściwości użytkowych materiału i skończywszy na ocenie właściwości eksploatacyjnych.

Biorąc pod uwagę ambitne i oryginalne podejście naukowe do opracowania alternatywnej do tradycyjnego odlewania precyzyjnego materiału na bazie stopu Inconel 713C metody wytwarzania bazującej na technologiach przyrostowych (SLM), zaplanowany i zrealizowany szeroki program badawczy, wnikliwą dyskusję uzyskanych wyników oraz potencjał aplikacyjny uzyskanych wyników uważam, że praca doktorska zasługuje na wyróżnienie.

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr Moniki Duchny.

