

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Pędraka

Tytuł rozprawy: „*Wpływ tlenków metali ziem rzadkich RE_2O_3 na właściwości powłokowej bariery cieplnej wytworzonej z tlenku ZrO_2* ”

Recenzja niniejszej rozprawy została przygotowana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, dr hab. inż. Aleksandra Mazurkowskiego, prof. PRz w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa z dnia 8.07.2020 r.

1. Charakterystyka ogólna

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy problematyki o istotnej wartości poznawczej i praktycznej związanej z nowymi możliwościami kształtowania budowy zewnętrznej warstwy ceramicznej powłokowej bariery cieplnej w celu poprawy jej właściwości użytkowych, głównie żaroodporności.

Szybki rozwój lotnictwa, a zwłaszcza konstrukcji napędów lotniczych jest możliwy między innymi dzięki modyfikacji elementów i podzespołów konstrukcyjnych silników jak również, przez zastosowanie do ich budowy nowoczesnych materiałów inżynierskich. Są to głównie nowe gatunki nadstopów niklu i zmodyfikowane materiały stosowane na powłokowe bariery cieplne – umożliwiające podwyższenie temperatury gazów spalinowych w części gorącej silnika tj. turbinie wysokiego ciśnienia.

Rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Pędraka odnosi się do problematyki wytwarzania na podłożu nadstopu Inconel 713C, w procesie natryskiwania plazmowego PS-PVD, żaroodpornych powłok ceramicznych cyrkonianów metali ziem rzadkich $RE_2Zr_2O_7$ z międzywarstwą materiału metalicznego. W pracy szczegółowo omówiono sposób wytwarzania cyrkonianów $RE_2Zr_2O_7$ dla określonych warunków procesu PS-PVD. Przeprowadzone badania właściwości cieplnych uzyskanych cyrkonianów erbu, gadolinu, neodymu i iterbu wykazały, że charakteryzują się one mniejszą dyfuzyjnością oraz przewodnością cieplną, co może być interesującą alternatywą w odniesieniu do powłok konwencjonalnych z tlenku ZrO_2 modyfikowanego Y_2O_3 .

Rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Pędraka zredagowana jest w tradycyjny sposób z podziałem na część literaturową, część doświadczalną i wyniki badań własnych. Praca liczy ogółem 98 stron z podziałem na 7 rozdziałów: rozdział 1 - wprowadzenie (2 strony), rozdział 2 - studium literatury (26 stron), rozdział 3 - podsumowaniu stanu zagadnienia w którym

zawarto również założenia, tezę i zakres pracy (3 strony), rozdział 4 – badania własne (5 stron), rozdział 5 – wyniki badań i ich analiza (38 stron), rozdział 6 - podsumowanie i wnioski (5 stron). Całość zakończona jest spisem literatury, który moim zdaniem niepotrzebnie został oznaczony jako rozdział 7. Zwykle w tego typu rozprawach podrozdział „Literatura” nie jest wyodrębniony kolejnym numerem. Rozprawa zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz najważniejszych oznaczeń. Ponadto w pracy Autor zamieścił 64 rysunki, 18 tabel oraz 8 zależności i reakcji. W rozprawie zacytowano 172 pozycje bibliograficzne, w większości jest to literatura źródłowa i pochodzi z ostatnich 15 lat (ponad 63%). Autor rozprawy jest współautorem 2 cytowanych publikacji.

Treść pracy w pełni odpowiada tytułowi. Około 27% objętości treści pracy poświęcone jest rozpoznaniu literaturowemu, reszta omówieniu metodyki badań, wynikom badań własnych oraz ich analizie. Zastosowana w pracy terminologia jest właściwa, symbolika również.

2. Charakterystyka szczegółowa

2.1. Tytuł i tematyka pracy

Tytuł pracy dobrze odzwierciedla różnorodne, szeroko zakrojone prace empiryczne składające się na treść rozprawy. Tematyka pracy jest oryginalna, aktualna i naukowo uzasadniona. Modyfikacja składu chemicznego powłokowych barier cieplnych stosowanych między innymi w silnikach lotniczych oraz wytworzenie nowych materiałów ceramicznych bezpośrednio podczas procesu natryskiwania plazmowego w warunkach obniżonego ciśnienia, z pominięciem procesów pośrednich są przedmiotem coraz większego zainteresowania przemysłu. Wynika to między innymi ze względów ekonomicznych i ekologicznych.

Kształtowanie warstwy powierzchniowej materiałów inżynierskich metodami inżynierii powierzchni to aktualnie rozwijany kierunek na świecie. Modyfikacja zarówno stopów metali przeznaczonych na elementy silników lotniczych, sposobów ich wytwarzania i chłodzenia podczas pracy w podwyższonej temperaturze zmusza do podjęcia działań nad znacznym obniżeniem rzeczywistej temperatury podłoża, co skutkuje zwiększeniem jego trwałości eksploatacyjnej. Obniżenie rzeczywistej temperatury podłoża można uzyskać przez wytworzenie na jego powierzchni powłoki ceramicznej TBC. Bariery cieplne na początku stosowane były na elementy statyczne, dopiero od niedawna stosowane są na elementach wirujących. Wprowadzenie powłok ochronnych podnosi niezawodność oraz wydłuża czas pracy silników lotniczych. Powłoki ceramiczne z barierą cieplną (TBC) zapewniają

jakościowy skok w stosowanej temperaturze pracy silników lotniczych. Obecnie powłoki te umożliwiają pracę turbiny silnika w temperaturze zbliżonej do temperatury topnienia nadstopów niklu. Technologia ceramicznych barier termicznych (TBC) tradycyjnie dawniej oparta była głównie na materiałach z jedną barierą cieplną – obecnie stosuje się dwu- a nawet trójwarstwowe powłokowe bariery cieplne złożone z warstw metalicznych i ceramicznych. Podstawowa bariera cieplna zbudowana jest z porowatego tlenku cyrkonu ZrO_2 stabilizowanego Y_2O_3 i jest nakładana za pomocą jednej z metod inżynierii powierzchni, między innymi APS (Air Plasma Spraying) – natryskiwanie plazmowe przy ciśnieniu atmosferycznym. Obecnie poszukiwania alternatywnych materiałów na powłokowe bariery cieplne TBC prowadzone są głównie w kierunku modyfikacji tlenku cyrkonu. Prowadzone są również prace badawcze nad opracowaniem nowych rodzajów warstw ceramicznych, które charakteryzowałyby się lepszymi właściwościami od powszechnie stosowanego tlenku cyrkonu stabilizowanego tlenkiem itru. Aktualnie największe znaczenie mają proszki ceramiczne na bazie pyrochlorów, tlenków metali ziem rzadkich, heksaaluminatów i perovskitów. Prowadzone są także badania nad zastosowaniem nowych tlenków stabilizujących tlenek cyrkonu, jak chociażby tlenki magnezu. Producenci proszków do natryskiwania plazmowego oferują między innymi proszki ceramiczne tlenku cyrkonu stabilizowane tlenkiem magnezu i wapnia.

- **Problematykę recenzowanej rozprawy doktorskiej uznać należy jako trafną, tak z punktu widzenia poznawczego, jak również praktycznego, ze względu na możliwość wykorzystania opracowanych nowych materiałów – cyrkonianów $RE_2Zr_2O_7$ do wytworzenia zewnętrznej warstwy ceramicznej w powłokowych barierach cieplnych charakteryzujących się lepszymi właściwościami cieplnymi od dotychczas stosowanych w porównaniu do warstwy konwencjonalnej z tlenku ZrO_2 stabilizowanej Y_2O_3 .**

W świetle przedstawionych uwarunkowań za uzasadnione wydaje się podjęcie przez Autora recenzowanej rozprawy doktorskiej badań nad wytwarzaniem użytkowych powłokowych barier cieplnych w procesie fizycznego osadzania par z zastosowaniem palnika plazmowego (natryskiwanie w procesie PS-PVD) w celu poprawy żaroodporności zewnętrznej powłoki ceramicznej.

2.2. Stan zagadnienia

Analiza obecnego stanu wiedzy w obszarze konstrukcji, technologii i eksploatacji potwierdza w dużym stopniu pogląd, że postęp techniki w XXI wieku wciąż zależy od

rozwoju materiałów i technologii materiałowych oraz metod modyfikacji powierzchni materiałów zapewniających odpowiednią trwałość eksploatacyjną. Aby nie pozostać tylko biernymi uczestnikami efektów rozwoju materiałów i zaawansowanych technologii oraz eksploatacji w warunkach ciągle zwiększających się wymagań przemysłu, ale chcąc aktywnie w nich uczestniczyć, należy dążyć zarówno do rozszerzenia wiedzy w obszarze charakterystyki materiałów i technologii, jak i do planowanego ich stosowania w określonych warunkach. Recenzowana rozprawa doktorska wystarczająco spełnia omówione założenia.

Część literaturowa rozprawy prezentuje wyczerpujący i usystematyzowany przegląd stanu wiedzy obejmujący: ogólną charakterystykę sprawności turbiny i roli czynników materiałowych; charakterystykę powłokowych barier cieplnych TBC z uwzględnieniem międzywarstwy metalicznej, warstwy tlenków oraz zewnętrznej warstwy ceramicznej; charakterystykę materiałów ceramicznych stosowanych na warstwę zewnętrzną powłokowych barier cieplnych ze szczególnym uwzględnieniem właściwości cieplnych tlenku ZrO_2 oraz metod jego stabilizacji; charakterystykę procesów wytwarzania warstw ceramicznych ze szczególnym uwzględnieniem procesu PS-PVD; charakterystykę mikrostruktury warstwy ceramicznej uzyskanej po procesie PS-PVD.

Dopełnieniem części literaturowej rozprawy jest rozdział w którym dokonano zwięzłego podsumowania stanu zagadnienia. Ponadto w rozdziale tym zamieszczone zostały, jak podaje Autor rozprawy w spisie treści - założenia, teza i zakres pracy.

Wybór zagadnień, ujmujących współczesną problematykę dotyczącą wytwarzania użytkowych powłokowych barier cieplnych w procesie fizycznego osadzania par z zastosowaniem palnika plazmowego (natryskiwanie w procesie PS-PVD) w celu poprawy żaroodporności zewnętrznej powłoki ceramicznej, jest dobrze umotywowany literaturowo i bezpośrednio związany z założeniami badawczymi przyjętymi w pracy.

2.3. Tezy pracy i zakres pracy

W oparciu o przedstawiony przegląd literatury oraz wnioski wyciągnięte z tego przeglądu, Autor przyjął następujące hipotezy badawcze;

- **wprowadzenie do proszku tlenku ZrO_2 tlenku metali ziem rzadkich z grupy lantanowców m.in.: Er_2O_3 , Gd_2O_3 , Nd_2O_3 , Yb_2O_3 oraz ich syntezę w wysokiej temperaturze umożliwi wytworzenie cyrkonianów $RE_2Zr_2O_7$ - Er_2ZrO_7 , Gd_2ZrO_7 , Er_2NbO_7 i Er_2YbO_7 o mniejszej przewodności cieplnej w porównaniu do tlenku ZrO_2 modyfikowanego Y_2O_3 ,**

- opracowanie składu chemicznego mieszaniny proszków $ZrO_2 + RE_2Zr_2O_7$ oraz procesu natryskiwania plazmowego w warunkach obniżonego ciśnienia PS-PVD – podwyższenie temperatury i zwiększenie czasu syntezy przez wzrost długości strumienia plazmy – umożliwi wytworzenie cyrkonianów $RE_2Zr_2O_7$ w zewnętrznej warstwie ceramicznej powłokowych barier cieplnych cechujących się lepszymi właściwościami użytkowymi w porównaniu do warstwy konwencjonalnej z $ZrO_2 \cdot nY_2O_3$.

2.4. Metody badawcze

Metodyka badań została szczegółowo opisana. Zastosowane w rozprawie metody badawcze oceniam wysoko, szczególnie interesujące są badania dyfuzyjności cieplnej warstwy oraz jej przewodności, jak również badania żaroodporności. Doktorant wykorzystał nowoczesną aparaturę i stosował metody, jakich można oczekiwać w tego rodzaju pracy. Każda z zastosowanych metod badawczych miała merytoryczne uzasadnienie i służyła dowiedzeniu tez pracy. Ponadto Doktorant precyzyjnie opisał materiały użytym do badań, rodzaje próbek oraz sposoby wytwarzania międzywarstw metalicznych oraz warstw ceramicznych w procesie fizycznego osadzania z odparowaniem za pomocą palnika plazmowego PS-PVD w warunkach obniżonego ciśnienia. Metodyka badań nie budzi zastrzeżeń, a wszystkie techniki badawcze zastosowano celowo.

2.5. Wartość merytoryczna pracy

Treść rozprawy wskazuje, że jej realizacja przebiegała zgodnie z przyjętym zakresem pracy. Dla potwierdzenia jej hipotez Autor rozprawy zrealizował kompleksowy program badań obejmujący następujące zadania badawcze:

- analizę danych literaturowych i wyników badań wstępnych wraz z doбором materiałów do wytworzenia żaroodpornej warstwy ceramicznej,
- opracowanie składu chemicznego mieszaniny tlenku ZrO_2 i tlenku metali ziem rzadkich RE_2O_3 : Er_2O_3 , Gd_2O_3 , Nd_2O_3 , Yb_2O_3 ,
- wytworzenie materiałów modelowych – spieków i ich proszków,
- zbadanie właściwości fizycznych i chemicznych proszków,
- określenie materiałów do procesu natryskiwania cieplnego w postaci mieszaniny tlenków $ZrO_2 + RE_2O_3$,
- mieszaninę mieszaniny proszków - ich składu chemicznego i fazowego oraz średniej średnicy i kształtu cząstek,

- analiza uzyskanych dotychczasowych wyników badań,
- opracowanie parametrów procesu PS-PVD,
- charakterystykę podłoża nadstopu niklu Inconel 713C z międzywarstwą metaliczną MCrAlY,
- wytworzenia zewnętrznej warstwy ceramicznej powłokowej bariery cieplnej w procesie PS-PVD z mieszaniny proszków tlenków $ZrO_2+RE_2O_3$,
- charakterystyki właściwości fizycznych i chemicznych wytworzonej warstwy cyrkonianów $RE_2Zr_2O_7$.
- analizę wyników badań i sformułowanie wniosków.

Stwierdzić należy, że te zadania badawcze mają podstawowe znaczenie dla recenzowanej rozprawy doktorskiej, tak z punktu widzenia poznawczego, jak i praktycznego, są oryginalnym osiągnięciem naukowym niniejszej rozprawy oraz nadają jej charakter nowości naukowej. Uważam, że zakres opiniowanej pracy spełnia wymagania stawiane badaniom będącymi podstawą rozpraw doktorskich.

W części badawczej Doktorant, jak już wcześniej zaznaczono, ustalił skład chemiczny mieszaniny proszków tlenku ZrO_2 i tlenków metali ziem rzadkich o ogólnym wzorze RE_2O_3 , który umożliwia ich syntezę w wysokiej temperaturze i wytworzenie cyrkonianów o ogólnym wzorze $RE_2Zr_2O_7$. Ponadto, dobrał takie parametry procesu PS-PVD, które przy obniżonym ciśnieniu spełniają warunki dla syntezy tlenku ZrO_2 i tlenków RE_2O_3 . Występuje więc możliwość wytworzenia nowych materiałów ceramicznych bezpośrednio podczas procesu natryskiwania plazmowego zewnętrznej warstwy ceramicznej powłokowych barier cieplnych z pominięciem procesów pośrednich. Wytworzone przez odpowiednio dobrane wartości parametrów procesu PS-PVD warstwy cyrkonianów, cechują się mniejszą dyfuzyjnością i przewodnością cieplną w porównaniu do dotychczas stosowanej konwencjonalnej warstwy tlenku cyrkonu ZrO_2 stabilizowanego tlenkiem itru (Y_2O_3).

W pracy uwzględniono analizę wyników pomiarów: parametrów chropowatości międzywarstwy metalicznej, charakterystyki mieszaniny zewnętrznej warstw ceramicznej tj. rozmiary cząstek proszków stosowanych do jej wytworzenia oraz rodzaj odmiany polimorficznej poszczególnych tlenków. Wytworzone mieszaniny proszków tlenków $RE_2O_3+ZrO_2$ o określonym składzie chemicznym były podstawą do przygotowania materiałów modelowych warstwy ceramicznej oraz weryfikacji ich właściwości cieplnych względem warstwy konwencjonalnej (tlenek ZrO_2 stabilizowany Y_2O_3 .)

Wyniki badań oraz występująca po ich prezentacji analiza wpływu zastosowanych parametrów procesu na uzyskiwanie zewnętrznych warstw ceramicznych o znaczne lepszych

właściwościach użytkowych w powiązaniu z budową i właściwościami tych warstw, złożyły się na spójny obraz zjawisk determinujących ich jakość. Przyjęte przez Autora parametry procesów PS-PVD, umożliwiły uzyskanie na podłożu nadstopu niklu Inconel 713C, warstw cyrkonianów metali ziem rzadkich charakteryzujących się:

- kolumnową budową i kształtem ziaren, podobnym do warstw wytworzonych z konwencjonalnego materiału ceramicznego - tlenku ZrO_2 modyfikowanego Y_2O_3 ,
- mniejszą o od 65 do 84% dyfuzyjnością cieplną oraz mniejszą o od 62 do 78% przewodnością cieplną, w zakresie temperatury $700 \div 1100^\circ C$, w odniesieniu do dyfuzyjności cieplnej konwencjonalnej warstwy ceramicznej wytworzonej ze zmodyfikowanego tlenku ZrO_2 ,
- dobrą odpornością na korozję wysokotemperaturową,

Tezy pracy zostały potwierdzone, a celowość zastosowania wybranych parametrów procesu PS-PVD w procesie modyfikacji zewnętrznej warstw ceramicznej powłokowych barier cieplnych okazała się zasadna.

Zaproponowane przez Autora rozprawy wnioski, są zgodne z wynikami eksperymentów oraz ich wcześniejszą analizą.

Podkreślić należy, iż treść rozprawy wskazuje, że jej realizacja przebiegała zgodnie z przyjętym oraz dobrze przygotowanym i obszernym zakresem badań. Ponadto część doświadczalna rozprawy została szczegółowo usystematyzowana. Jest to niezbędne, gdyż obszar badawczy jest bardzo obszerny, a Autor pracy wykorzystał w nim wiele różnych metod badawczych. Z uwagi na złożony charakter zachodzących procesów, właściwy dobór metod miał decydujące znaczenie dla powodzenia pracy. Ponadto stwierdzić należy, że część badawcza rozprawy uwidacznia wyraźnie inwencję i dociekliwość Doktoranta.

2.6. Oryginalność naukowa rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Pędraka jest pracą oryginalną, mającą istotne znaczenie ze względów poznawczych i aplikacyjnych. Należy w tym miejscu podkreślić, że badania były realizowane w ramach Projektu: INNOLOT/I/7/NCBR/2013 „Zaawansowane techniki wytwarzania zespołu turbiny napędowej” INNOLOT TED U-474/G/IL finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Oryginalnym elementem rozprawy jest ustalenie nowego składu chemicznego mieszaniny proszków tlenku ZrO_2 tlenków metali ziem rzadkich z grupy lantanowców, o ogólnym wzorze RE_2O_3 , który umożliwia ich syntezę w wysokiej temperaturze i wytworzenie cyrkonianów erbu, gadolinu, neodymu i iterbu, które charakteryzują się mniejszą

dyfuzyjnością oraz przewodnością cieplną, w porównaniu do powłok konwencjonalnych wytworzonych z tlenku ZrO_2 modyfikowanego Y_2O_3 . Za oryginalne osiągnięcie pracy uważam również, dobór takich parametrów procesu PS-PVD, które w warunkach obniżonego ciśnienia spełniają warunki dla syntezy tlenku ZrO_2 i tlenków RE_2O_3 , z możliwością wytworzenia nowych materiałów ceramicznych bezpośrednio podczas procesu natryskiwania plazmowego zewnętrznej warstwy ceramicznej powłokowych barier cieplnych z pominięciem procesów pośrednich.

Podkreślić należy, że tak wszechstronna i szczegółowa charakterystyka materiału badawczego zasługuje na uznanie. Uzyskane wyniki stanowią niewątpliwy dowód na przydatność zastosowanego rozwiązania do procesów modyfikacji użytkowych powłokowych barier cieplnych stosowanych w turbinach silników lotniczych.

2.7. Stopień rozwiązania zagadnienia

Stopień rozwiązania zagadnienia oceniam, jako w pełni satysfakcjonujący. Dla udowodnienia tez przyjętych w pracy Autor wykonał badania, stosując wiele różnych metod badawczych niezbędnych do oceny budowy i określenia wybranych właściwości fizycznych oraz użytkowych wytwarzanych warstw.

Doktorant w trakcie realizacji pracy wykazał się sprawnością techniczną co wymagało gruntownej Jego wiedzy w przedmiocie badań oraz dużej pomysłowości w rozwiązywaniu problemów technicznych.

2.8. Układ treści i opracowania edytorskiego

Układ treści rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Pawła Pędraka jest układem typowym dla rozpraw doktorskich w dziedzinie nauk inżynierijno – technicznych. Drobnym mankamentem są występujące błędy stylistyczne i interpunkcyjne. Struktura pracy jest prawidłowa, kolejność rozdziałów dobrana jest poprawnie. Należy podkreślić dobrą przejrzystość i czytelność rysunków, zwłaszcza w rozdziale dotyczącym badań mikroskopowych.

2.9. Uwagi i zapytania

Ogólnie, wysoka ocena merytorycznej wartości rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Pawła Pędraka nie zwalnia od pewnych uwag, które nasunęły się w czasie jej czytania.

Autor niniejszej rozprawy nie może się zdecydować czy stawia tezę pracy – jak podaje w spisie treści oraz w tytule rozdziału 3 cyt. „, Podsumowanie stanu zagadnienia – założenia,

teza i zakres pracy” – czy stawia hipotezy badawcze – jak podaje na str. 33 rozprawy swojej dysertacji doktorskiej. Według autora niniejszej recenzji istnieje różnica między tezą a hipotezą badawczą, chociaż należy stwierdzić, że często jest to stosowane niestety dowolnie jako pewien rodzaj zamiennika. Najtrafniejszą definicję hipotezy według mnie postawił Tadeusz Kotarbiński – hipoteza to *cyt. „,...,...takie przypuszczenie dotyczące zachodzenia pewnych zjawisk lub zależności, które pozwala wyjaśnić jakiś niewytłumaczalny dotąd problem”*. Teza to zgodnie z definicją: *twierdzenie do którego przedstawia się uzasadnienie*. Reasumując hipoteza wymaga udowodnienia i może być podstawą tezy, natomiast teza jest zdaniem, które uważamy za prawdziwe, w przypadku hipotezy takiej pewności nie mamy. Proszę aby Autor niniejszej dysertacji doktorskiej ustosunkował się do niniejszej uwagi.

Stwierdzić również należy obecność błędów stylistycznych w sformułowanych tezach czy też hipotezach – czy nie bardziej poprawną formą byłoby określenie „...oraz ich synteza w wysokiej temperaturze” zamiast cyt.: „oraz ich syntezę w wysokiej temperaturze”, jak również „...podwyższenie temperatury i wydłużenie czasu syntezy”, w miejsce cyt.: *podwyższenie temperatury i zwiększenie czasu syntezy”*.

Według mnie brak jest określenia konkretnego celu pracy. Przy tak szerokim zakresie pracy sformułowanie celu naukowego oraz utylitarnego dysertacji doktorskiej nie powinno być problemem. Spowodowane jest to być może tzw. różnymi „szkołami” pisanie wszelkiego rodzaju prac inżynierijno-technicznymi. Jestem jednak zwolennikiem sformułowanej między innymi przez śp. Prof. L. Jeziorskiego formuły, że każda praca naukowa z zakresu inżynierijno-technicznego musi mieć jasno określony cel naukowy.

Przeprowadzony podczas badań mikroskopowych pomiar grubości wytworzonych warstw ceramicznych z cyrkonianów erbu, gadolinu, neodymu i iterbu wykazał znaczne rozbieżności, pomimo stwierdzenia, że analiza wyników tych pomiarów nie wskazuje na wpływ wartości natężenia prądu palnika na grubość wytwarzanych warstw. Doktorant przyjmuje, że zmiana grubości warstw, przy stałej wartości prądu palnika (powinno być: stałej wartości natężenia prądu palnika), spowodowana jest nierównomiernym zsypywaniem się proszku ceramicznego w podajniku urządzenia LPPS. Czy da się wyeliminować tą wadę, który może wpływać na precyzyjność natryskiwania warstw ceramicznych o wymaganej określonej grubości?

Czy niepewność pomiaru σ wynosząca 26,75 przy określeniu największej z uzyskanych wartości grubości warstwy ceramicznej nie dyskredytuje uzyskanej wartości grubości?. W jaki sposób szacowano niepewność pomiaru – czy była to niepewność standardowa, równa odchyleniu standardowemu?

W zamieszczonym na końcu rozprawy streszczeniu Autor podaje, że cyt. "Wytworzono warstwy ceramiczne w procesie PS-PVD na podłożu nadstopu Inconel 713C z międzywarstwą materiału metalicznego oraz grafitu", natomiast w całej pracy o graficie nie wspomniano - proszę o wyjaśnienie.

3. Wniosek końcowy

Wymienione w recenzji uwagi nie obniżają wysokiej oceny merytorycznej tej pracy. Podsumowując opinię rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Pędraka stwierdzam, że tematyka rozprawy została trafnie wybrana z uwagi na jej naukową aktualność, a badania wniosły nowe treści, zarówno poznawcze jak i aplikacyjne.

Przedstawiony w pracy materiał, świadczy o dojrzałości naukowej Autora. Mgr inż. Paweł Pędrak wykazał opanowanie interdyscyplinarnej wiedzy oraz wielu, w tym unikatowych, metod badawczych oraz umiejętności prowadzenia celowych i skutecznych badań. Zrealizował założony zakres pracy i udowodnił postawione w pracy tezy w stopniu nie budzącym wątpliwości.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „*Wpływ tlenków metali ziem rzadkich RE_2O_3 na właściwości powłokowej bariery cieplnej wytworzonej z tlenku ZrO_2* ” spełnia wymagania określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Pawła Pędraka do publicznej obrony tej rozprawy.

Jadysz Frączek