

dr hab. inż. Agata Dudek, prof. PCz.
Instytut Inżynierii Materiałowej
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Politechnika Częstochowska
Armii Krajowej 19
42-200 Częstochowa

Częstochowa, 2019-06-25

RECENZJA

Pracy doktorskiej mgr inż. SEBASTIANA JUCHY pt.: „Rola budowy wewnętrznej warstwy ceramicznej w kreowaniu właściwości użytkowych powłokowych barier ciepłych”

opracowana na zlecenie Rady Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Politechniki Śląskiej (zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Politechnika Śląska, pismo RM/339/2018/2019 z dnia 22.05.2019r.)

PRZEDMIOT I ZAKRES ROZPRAWY

Nowoczesne materiały tlenkowe stosowane na ochronne bariery termiczne, (których zadaniem jest między innymi ochrona przed szkodliwym wpływem temperatury niektórych części turbin ciepłych, gazowych czy części silników wysokoprężnych z jednoczesnym zapewnieniem ich wysokiego poziomu niezawodności oraz bezpieczeństwa) od wielu lat to jeden z głównych zagadnień znajdujących się w zakresie zainteresowania naukowców w kraju jak i za granicą.

Najczęściej wykorzystywanym w ostatnich latach materiałem, którego unikalne własności predestynują go do zastosowań między innymi jako materiał termoizolacyjny, jest dwutlenek cyrkonu, należący do grupy wysokotopliwych faz, który ze względu na swoje właściwości m.in. niską przewodność cieplną, wysoką twardość, odporność na utlenianie i korozję, wysoki współczynnik izolacyjny, oraz wysoką temperaturę topnienia znalazł bezpośrednie zastosowanie na tzw. bariery cieplne TBCs – Thermal Barrier Coatings.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Oliwera Juchy jest zewnętrzna warstwa powłokowa bariery cieplnej, która jak proponuje Doktorant, może stanowić alternatywę dla stosowanych obecnie powłok wykonywanych z modyfikowanej dodatkiem Y_2O_3 ceramiki cyrkonowej Y-PSZ (zwanej w skrócie YSZ). Podjęty przez Doktoranta problem badawczy związany z określeniem roli wewnętrznej warstwy ceramicznej w kreowaniu właściwości użytkowych powłok TBC należy uznać na wyzwanie zarówno o charakterze poznawczym jak i użytkowym.

Uwzględniając powyższe przesłanki recenzent potwierdza aktualność jak i zasadność podjętej przez Pana mgr inż. Sebastiana Oliwera Juchę problematyki, stanowiącej przedmiot badań recenzowanej pracy, która mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa.

OCENA WARTOŚCI MERYTORYCZNEJ PRACY

Praca doktorska ma charakter doświadczalny, z tradycyjnym dla tego typu opracowań układem. Posiada przejrzysty, logiczny i chronologiczny układ i liczy w sumie 151 strony. Praca podzielona została na cztery rozdziały główne: 1. Przegląd piśmiennictwa, 2. Badania własne, 3. Analiza wyników badań własnych, 4. Wnioski. Rozprawa zawiera ponadto Wprowadzenie oraz Bibliografię.

W rozdziale pierwszym „Przegląd piśmiennictwa” Autor przedstawił przegląd stanu wiedzy i techniki w przedmiocie podejmowanego zagadnienia m.in. przedstawił ogólny opis systemów powłokowych barier cieplnych, schemat ich budowy pod kątem poszczególnych metod (technologii) ich wytwarzania, właściwości wybranych materiałów stosowanych na powłoki TBC, kierunki rozwoju powłokowych barier cieplnych oraz mechanizmy ich degradacji.

Opracowana na podstawie bogatej i aktualnej literatury (174 pozycje literatury), ta część pracy ułatwia zrozumienie problemów i zagadnień przedstawionych w części eksperymentalnej. Przegląd piśmiennictwa napisany jest poprawnie pod względem merytorycznym z nielicznymi błędami edytorskimi.

Na podstawie przeglądu literaturowego, w podsumowaniu Doktorant stwierdza, że brakuje jednoznacznych informacji na temat wpływu obecności granic międzyfazowych w powłokach dwuskładnikowych opartych na 8YSZ i cyrkonianie samaru na przewodność cieplną oraz na temat zjawisk zachodzących w materiałach kompozytowych ceramiki 8YSZ oraz $\text{Sm}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ podczas ekspozycji na działanie środowiska ciekłych soli Na_2SO_4 bez udziału tlenku wanadu.

W oparciu o przegląd literatury, Doktorant sformułował następującą tezę rozprawy: **„Powłoki TBC na bazie cyrkonianu samaru oraz budowie wewnętrznej opartej na układzie dwuwarstwowym z przejściową strefą kompozytową typu $\text{Sm}_2\text{Zr}_2\text{O}_7+8\text{YSZ}$ zapewnią: uzyskanie systemu ochronnego o maksymalnych zdolnościach izolacyjnych, przy zachowaniu korzystnego stanu naprężeń wewnętrznych i wysokiej trwałości eksploatacyjnej w warunkach utleniania wysokotemperaturowego oraz w warunkach oddziaływania ciekłych osadów solnych”.**

W pracy sformułowano ponadto cel naukowy oraz cel praktyczny. Celem naukowym pracy był opis mechanizmów, jakie odpowiadają za właściwości izolacyjne powłok oraz mechanizmów niszczenia powłok. Celem praktycznym pracy było wytworzenie powłoki TBC metodą natryskiwania plazmowego APS o lepszych właściwościach użytkowych (o obniżonej przewodności cieplnej, o zwiększonej trwałości) niż stosowane dotychczas powłoki na bazie 8YSZ.

W celu udowodnienia tezy oraz osiągnięcia założonych celów, Doktorant użył szereg metod i technik eksperymentalnych z właściwie zaplanowaną sekwencją badań. W rozdziale 2.2 „Metodyka badań” zaprezentowano w sposób prawidłowy i wyczerpujący opis metod badawczych, jakie wykorzystano w pracy m.in.: badania mikrostrukturalne (mikroskopia świetlna, elektronowa skaningowa SEM, skaningowo-transmisyjna STEM), badania składu fazowego i chemicznego (XRD, EBSD, EDS), analizę wielkości ziarna i krystalitów (STEM, XRD), badania właściwości cieplnych (laserowa metoda impulsowa).

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów i doświadczeń, zostały opisane w sposób czytelny z wykorzystaniem prawidłowej terminologii stosowanej w inżynierii materiałowej. Na podkreślenie zasługuje dobre graficzne opracowanie wyników badań.

Proponowana koncepcja badawcza oparta jest na możliwości praktycznego zastosowania cyrkonianu samaru o strukturze pirochloru oraz proszku 8YSZ.

Pan mgr inż. Sebastian Jucha zaproponował najkorzystniejszy wariant budowy powłok ceramicznych TBC badając oraz analizując strukturę oraz właściwości siedmiu rodzajów powłok: jednowarstwowych, kompozytowych oraz powłok typu DLC (Double Ceramic Layer).

Podsumowując część doświadczalną recenzowanej pracy należy stwierdzić, że zrealizowane w pracy zadania badawcze w pełni potwierdzają słuszności przyjętej tezy.

Praca opatrzona jest 195 pozycjami literaturowymi fundamentalnymi dla zagadnienia. Obszerny przegląd literatury jest trafny, wyczerpujący i obejmuje liczące się publikacje, dotyczące problematyki stanowiącej przedmiot recenzowanej pracy.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć:

- potwierdzenie, że najniższe przewodnictwo cieplne z wszystkich badanych powłok wykazała powłoka 25%wag. 8YSZ + 75% wag. $\text{Sm}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$;
- stwierdzenie, że przyrost grubości strefy TGO jest ściśle związany z udziałem ilościowym fazy $\text{Sm}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$;

- udowodnienie, że czynnikami, które w głównej mierze wpływają na wartość współczynnika przewodnictwa cieplnego powłok są porowatość materiału oraz wprowadzenie granic międzyfazowych;
- wykazanie, że najbardziej optymalną budową wewnętrzną charakteryzuje się powłoka TBC typu dwuwarstwowego z kompozytową strefą przejściową: $\text{Sm}_2\text{Zr}_2\text{O}_7/\text{C}/8\text{YSZ}$.

Na szczególne podkreślenie zasługują bardzo starannie przeanalizowane i zaprezentowane w pracy, badania rentgenowskie, wykonane dla każdego etapu badań: dla charakterystyki proszków wyjściowych, powłok natryskiwanych, powłok poddanych wysokotemperaturowej korozji w środowisku związków siarki oraz po badaniach w solach Na_2SO_4 z dodatkiem 5% i 50% V_2O_5 .

Analizując rozprawę doktorską Pana mgr inż. Sebastiana Juchy od strony merytorycznej, należy stwierdzić, że w sposób prawidłowy sformułowano problem badawczy, dokonano doboru technik badawczych oraz interpretacji uzyskanych wyników badań. Praca napisana jest poprawnym językiem z użyciem prawidłowej terminologii technicznej.

Wysoką ocenę wartości merytorycznej oraz edytorskiej rozprawy potwierdza mała liczba dostrzeżonych przez recenzenta niedociągnięć, których wyjaśnienie wydaje się jednak celowe.

- str. 9 „dzięki krótszemu czasu operacji” powinno być: dzięki krótszemu czasowi operacji
- str. 13 „charakteryzują cię silnym zdefektowaniem sieci” powinno być: charakteryzują się.....
- str. 14 „Analizowane były modyfikacji innymi tlenkami....” Powinno być Analizowane były modyfikacje.....
- str. 16 skrót „wg.” jest nieprawidłowy. Po skrócie „wg” nie stawia się kropki.
- str. 18 „Rysunek 6 przedstawiają”
- str.32 „W celu poprawy właściwości powłok na korozję wysokotemperaturową....”
- str. 34 niepoprawna pisownia słowa - „nie wielką”
- str. 35 niepoprawna pisownia słowa – „wacha się”
- str. 39 Niejasne sformułowanie punktu nr 2, zdanie: Wśród analizowanych aspektów, badany wpływ struktury krystalicznej rozpatrywanych rozwiązań materiałowych, obecności porowatości oraz granic międzyfazowych”.
- str. 42 „Źródło promieniowania stanowi lampa z katodą miedzianą,”-powinno być: anodą miedzianą

-str. 56, 57, 58 Rysunki 20, 21, 22 nie przedstawiają schematu budowy systemu TBC jak podano w opisie.

-str.56 W przypadku powłoki DLC- $\text{Sm}_2\text{Zr}_2\text{O}_7/\text{C}/8\text{YSZ}$ jaki zastosowano udział poszczególnych proszków w strefie kompozytowej „C”?

-str. 59 Tabela 8 Proszę o wyjaśnienie otrzymanych wyników i opisu tabeli – „udział objętościowy faz”

-str. 65 Tabela 9 – Parametry chropowatości podano z błędem edycyjnym Rz, Ra, Rq

-str. 73 Tabela 12 - brak jednostki gęstości rzeczywistej

-od str. 73 i rysunku 33 - błędne powoływanie się na numery rysunków w tekście pracy.

-str. 78 Zdanie niejasne „Zdjęcia makro próbek po każdym z etapów wygrzewania”.

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam bardzo wysoko. Pan mgr inż. Sebastian Oliwer Jucha wykazał się zdolnością rozpoznawania i formułowania problemów badawczych z jednoczesnym właściwym doбором uzupełniających się nowoczesnych metod badawczych. Doktorant zrealizował cel badawczy i naukowy oraz dowiódł słuszności badawczej tezy uzyskując rezultaty mające istotne znaczenie aplikacyjne.

WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Sebastiana Juchy pt.: „**Rola budowy wewnętrznej warstwy ceramicznej w kreowaniu właściwości użytkowych powłokowych barier cieplnych**” stanowi samodzielne opracowanie aktualnego i złożonego zagadnienia związanego ze stosowaniem powłokowych barier cieplnych TBC. Doktorant rozwiązał trudne zadania badawcze i wykazał tym samym bardzo dobre opanowanie warsztatu badawczego w zakresie metod i technik typowych dla dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa.

Stwierdzam, że praca doktorska spełnia, wymagania stawiane rozprawom doktorskim, sformułowane w obowiązujących przepisach i na tej podstawie stawiam **wniosek o dopuszczenie** mgra inż. Sebastiana Juchy do publicznej obrony rozprawy w dyscyplinie „Inżynieria Materiałowa” przed Radą Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Politechniki Śląskiej.

Agata Dudek