Katowice, dn. 21. 06. 2023 r.
dr hab. inż. Bożena Szczucka-Lasota, prof. PŚ.
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
40-019 Katowice
ul. Krasińskiego 8

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Tomasza Chrostka
pt.: „Właściwości termofizyczne wielofazowej struktury powłok FeAl (DGS) z udziałem ceramiki tlenkowej i jej wpływ na zużywanie ścierne w warunkach tarcia suchego"
Promotor: dr hab. inż. Cezary Senderowski, prof. uczelni ,
Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Karczewski

1. Formalna podstawa recenzji

Podstawę formalną opracowania przedmiotowej recenzji, stanowi Uchwała nr 674/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 27.04.2023 powołująca mnie na Recenzenta rozprawy i przedstawiona w skierowanym do mnie piśmie Dziekana Wydziału Nauk Technicznych prof. dr hab. inż. Adama Lipińskiego, a także zawarta umowa o dzieło nr 9/16.000.001/2023 polegające na sporządzeniu recenzji dotyczącej spełnienia przez rozprawę doktorską wymagań określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

2. Tytuł rozprawy doktorskiej - aktualność podjętego tematu

Rozprawa doktorska mgr Tomasza Chrostka dotyczy właściwości termofizycznych wielofazowej struktury powłok na osnowie fazy FeAl natryskiwanych metodą gzaodetonacyjną (DGS) z udziałem ceramiki tlenkowej. Fazy międzymetaliczne są badane od ponad 40 lat, a dzięki swoim licznym zaletom znajdują wciąż nowe zastosowania. Niska plastyczność i skłonność do kruchego pękania generują główne

problemy technologiczne związane z wytwarzaniem i przetwarzaniem tych faz, a także ich późniejszą eksploatacją. Szczególny rozwój materiałów faz międzymetalicznych nastąpił po opracowaniu metod metalurgii proszków i doborze odpowiednich parametrów procesów umożliwiających aplikację wyżej wymienionych faz w postaci powłok natryskiwanych cieplnie. Obecne i potencjalne zastosowania omawianych faz w licznych gałęziach przemysłu są determinowane głównie ich dobrymi właściwościami antykorozyjnymi w różnych aktywnych chemicznie środowiskach, a także odpowiednio wysoką odpornością na zużycie ścierne i erozję. Zespół korzystnych właściwości sprawia, że fazy międzymetaliczne stanowią nadal perspektywiczny materiał do zastosowań na różnego rodzaju konstrukcje pracujące w złożonych warunkach, synergicznego oddziaływania czynników zewnętrznych. Są materiałem chętnie badanym przez różne ośrodki w Polsce i na świecie.

Tematyka związana z wpływem otrzymywanej w procesie natryskiwania wielofazowej struktury z udziałem ceramiki tlenkowej na właściwości termofizyczne i użytkowe powłok jest zagadnieniem otwartym, aktualnym i ciągle zgłębianym przez naukowców. Brak jest wystarczającej liczby kompleksowych prac badawczo-naukowych dotyczących tego zagadnienia, w szczególności w powiązaniu z metodą osadzania DGS. W tym zakresie rozpoznanie tematu, przez Autora dysertacji przeprowadzone w oparciu o literaturę krajową jak i zagraniczną, jednoznacznie wskazuje na potrzebę uzupełnienia wiedzy w omawianym obszarze badawczym. Wybór tematu rozprawy należy uznać za właściwy a jego podjęcie jest w pełni uzasadnione. Tematyka rozprawy mieści się w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn, jest aktualna i w znacznym stopniu nowatorska. W świetle tego zajęcie się przez mgra Tomasza Chrostka określeniem właściwości termofizycznych wielofazowej struktury powłok na osnowie fazy FeAl (DGS) z udziałem ceramiki tlenkowej i jej wpływu na zużywanie ścierne w warunkach tarcia suchego uważam za jak najbardziej celowe i poszerzające tym samym wiedzę w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Wybór tematyki i zakresu badań oraz zastosowanych procedur badawczych Doktorant dokonał w sposób trafny i logiczny, a uzyskane wyniki, ich analizy mają charakter poznawczy i utylitarny.

Reasumując, należy stwierdzić, że sformułowanie tematu rozprawy powinno się uznać za właściwe i odpowiadające współczesnym potrzebom nauki i praktyki w obszarze problematyki związanej z doborem parametrów procesu natryskiwania metodą DGS faz międzymetalicznych w celu uzyskania odpowiednich właściwości użytkowych powłok dla zastosowań przemysłowych.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy - ocena metodyczna (ocena układu rozprawy doktorskiej, ocena zastosowanego piśmiennictwa)

Tytuł pracy „Właściwości termofizyczne wielofazowej struktury powłok FeAl (DGS) z udziałem ceramiki tlenkowej i jej wpływ na zużywanie ścierne w warunkach tarcia suchego" koresponduje z jej treścią.

Praca liczy 190 stron i jest numerowana podwójnie. Pierwsza numeracja znajduje się w dolnym prawym rogu maszynopisu, obejmuje wszystkie strony wraz ze stroną tytułową rozprawy, której nadano nr 1 z dodatkowym rozszerzeniem „:8167430758" (dodatkowe rozszerzenie zmienia się losowo na każdej stronie – brak reguły). Druga numeracja, umieszczona w prawym dolnym rogu, bezpośrednio nad pierwszą numeracją, rozpoczyna się również nr 1, ale rozpoczęcie numerowania nastąpiło od strony zawierającej spis treści. Stąd ta sama strona opracowania ma różne numery. W dalszej części recenzji, w przypadku odnoszenia się do konkretnej strony recenzowanej pracy, dla ułatwienia będę posługiwała się numeracją bez rozszerzenia, mimo, iż nie odpowiada ona rzeczywistej liczbie stron (nastąpiło najprawdopodobniej przypadkowe przesunięcie). Zgodnie z tą numeracją, praca obejmuje stronę tytułową (bez numeru), spis treści (s. 1-2), wstęp (s. 3-6), treść właściwą podzieloną na: część literaturową (rozdział 1-2 s. 7-53), rozdział 3 w którym autor dokonuje podsumowania przeglądu literatury, stawia cel, tezy i przyjmuje zakres badań (s. 54-58), część badawczą obejmującą rozdziały 4-5 dysertacji, zawierającą charakterystykę materiału do badań, metodykę badawczą oraz przedstawienie wyników badań i ich analizy (s. 59-158), a także część ostatnią zawierającą podsumowanie i wnioski końcowe (s. 159-163). Do pracy dołączono spis rysunków i tabel (164-170), wykaz materiałów źródłowych (Literatura s.171) oraz streszczenie w języku polskim (s. 188) i angielskim (s. 189). **Układ pracy jest logiczny i czytelny.**

Bibliografia obejmuje 272 pozycje literaturowe w tym 39 pozycji z ubiegłego wieku i około 157 pozycji ponad dziesięcioletnich. Biorąc pod uwagę ogromny postęp w obszarze faz międzymetalicznych w ostatnim 10-leciu, za najbardziej istotne źródła należy uznać pozostałe powołane publikacje i normy, w tym 15 pozycji z ostatnich 5 lat. Dobór literatury można uznać za wystarczający do analizowanej tematyki, przegląd został wykonany w sposób staranny (w wykazie zdarzają się drobne literówki, np. przy podawaniu nazwisk: „Niewielki" zamiast Niewielski s. 171).

Pan mgr Tomasz Chrostek , bazując na skrupulatnym przeglądzie literatury właściwie zdefiniował problem badawczy, określił cel dysertacji. **Poszczególne rozdziały są powiązane ze sobą merytorycznie, a pomiędzy zasadniczymi elementami opracowania zachowano właściwe proporcje**.

Wnioskowanie jest poprawne, a znajomość szczegółowych technik analityczno-badawczych zadowalająca.

W dysertacji, w podsumowaniu Doktorant przedstawił najważniejsze osiągnięcia związane z realizacją celu pracy. Doktorant nie przedstawił w opracowaniu zarówno badań wstępnych jak i planowanych badań przyszłościowych, co można uznać za niedociągnięcie w recenzowanej dysertacji.

Podział treści na rozdziały ujmuje zatem prawie wszystkie istotne elementy tematu rozprawy. Z metodologicznego punktu widzenia otrzymaną do recenzji monografię oceniam pozytywnie.

4. Ocena merytoryczna (wskazanie i ocena celu pracy kandydata, zastosowanych metod badawczych oraz sposobu omówienia przez kandydata wyników badań)

Język i terminologia jakimi posługuje się Doktorant są w miarę poprawne, a myśli formułowane w sposób jasny i na ogół jednoznaczny. Analiza wyników badań i użyta argumentacja stanowią logicznie powiązaną całość.

We wstępie oraz w rozdziale pierwszym Doktorant przedstawił ogólnie znane z literatury właściwości faz międzymetalicznych z układu Fe-Al, zwrócił uwagę na znane od lat trudności związane z ich przetwarzaniem. Na stronie 6 pracy podkreślił, że wyniki bardzo szczegółowych badań dotyczących tworzenia się faz tlenkowych, zaprezentowane w literaturze (powołanie w tym miejscu 2 publikacji promotora) stanowiły „okoliczności… podstawy podjętej w rozprawie oceny właściwości termofizycznych wytworzonych powłok intermetalicznych FeAl (DGS).” Informacja ta została powtórzona w rozdziale 2.5 pracy, s. 49, gdzie Doktorant pisze, że „kluczowe znaczenie w analizie rozpatrywanych zagadnień strukturalnych powłok intermetalicznych typu Fe-Al, mają badania modelowe (teoretyczne i numeryczne) parametrów termo-kinetycznych gazowego strumienia metalizacyjnego (….) wyniki tych badań są podstawą realizacji tej pracy doktorskiej”. Niestety w żadnym z tych rozdziałów Doktorant nie opisał wspomnianych badań i nie przytoczył wyników, czy przykładów realizacji, nie wskazał na potrzebę ich kontynuowania, ani nie nakreślił luki badawczej uzasadniającej podjęcie tematu. W tym samym rozdziale (rozdział 2 pracy) dyplomant scharakteryzował szczegółowo metody natryskiwania cieplnego powłok ochronnych Fe-Al. W podrozdziale 2.5 dysertacji, poświęconemu metodzie DGS nakreślił **cel naukowy rozprawy**, którym jest **analiza stopnia utleniania się cząstek proszku FeAl w zbilansowanym energetycznie strumieniu gazowych produktów spalania detonacyjnego i wpływ formujących się faz**

tlenkowych (in situ w procesie DGS) – na kształtowanie struktury powłoki intermetalicznej Fe-Al oraz jej właściwości termofizyczne (ciepło właściwe, przewodność cieplną i liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej). Określony cel koresponduje z tematem rozprawy i jest właściwie sformułowany. Niemniej, należy podkreślić, że przeprowadzona przez Doktoranta na tym etapie pracy, analiza literatury nie wskazuje, że realizacja takiego celu wypełni lukę w obszarze wiedzy na temat powłok faz międzymetalicznych z układu Fe-Al natryskiwanych cieplnie metodą gazodetonacyjną. O formowaniu się wtrąceń tlenkowych w procesie DGS i ich wpływie na strukturę a przez to i właściwości uzyskiwanych powłok autor pisze dopiero w rozdziale 2.6. dysertacji na s. 51-52. Rozdział wieńczy konkluzją wyjaśniającą przyjęcie wyżej wspomnianego celu naukowego. Z punktu realizowanego tematu i przyjętego celu naukowego pracy, ta część analizy literatury ma największą wartość poznawczą. Podsumowanie literatury zawiera ponownie ogólne informacje o fazach międzymetalicznych z podkreśleniem możliwości ich zastosowania w formie powłok ochronnych. Bardzo lapidarnie Pan mgr Tomasz Chrostek podsumowuje stan wiedzy z analizowanych obszarów dotyczących natryskiwania cieplnego powłok, szczególnie w obszarze metody DGS. W tym zakresie ogranicza się do stwierdzenia, że „*przedstawiony w tym względzie w rozdziale 2 przegląd literatury, poświęcony technologiom natryskiwania cieplnego, wykazuje duże zainteresowanie naukowców z całego świata wytwarzaniem powłok intermetalicznych typu Fe-Al z wykorzystaniem różnych technologii natryskiwania cieplnego (Arc, APS, HVOF, DGS i Cold Spraying*)". W rozdziale brakuje uzasadnienia wyboru przez Doktoranta metody DGS do dalszych badań. O metodzie DGS Pan mgr Chrostek w podsumowaniu wspomina jeszcze dwa razy. Raz w kontekście wytworzenia metodą DGS, w Instytucie Platona Ukraińskiej Akademii Nauk w Kijowie, próbek do badań (informacja istotna ale nie na tym etapie pracy, powinna być zamieszczona w rozdziale 4. (Materiał badawczy i stosowane metodyki badań) i drugi raz, w kontekście uzupełnienie informacji przedstawionych na s. 49 dysertacji, że w literaturze przedmiotu przedstawiono mechanizm formowania się faz tlenkowych ulegających amorfizacji w określonych warunkach procesu DGS. Niektóre informacje Autor podaje parokrotnie, uzupełniając je lub najczęściej tylko powtarzając na innych stronach dysertacji. Pod tym względem praca wymaga uporządkowania. Podobnie, w rozdziale podsumowującym przegląd literatury, Pan mgr Tomasz Chrostek pisze, że nierozwiązanym problemem jest **analiza stopnia utleniania się cząstek proszku FeAl w zbilansowanym energetycznie strumieniu gazowych produktów spalania detonacyjnego i wpływ formujących się faz tlenkowych (in situ w procesie DGS) – na kształtowanie struktury powłoki intermetalicznej Fe-Al oraz jej właściwości termofizyczne (ciepło właściwe, przewodność cieplną**

i liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej). Tym samym po raz kolejny powtarza cel naukowy opracowania. Tym razem jednak podkreśla, że stanowi on lukę badawczą. Należy podkreślić, że dopiero na tym etapie realizacji doktoratu postawienie celu jest w pełni uzasadnione. Po postawieniu celu autor powtarza informacje ze s. 49 dotyczące istotności określenia właściwości termofizycznych faz tlenkowych w aspekcie cech użytkowych wytworzonych powłok (twardości, podatności do formowania pęknięć, przyczepności do podłoża, stabilności cieplnej oraz odporności na zużycie ścierne). W tym zakresie autor dokonał selekcji wybranych cech użytkowych, nie podając na żadnej z cytowanych stron kryterium ich przyjęcia.

Doktorant formułuje także cztery tezy badawcze rozprawy:

- w warunkach natryskiwania detonacyjnego proszku stopowego na osnowie fazy międzymetalicznej FeAl, natryskane do wody cząstki proszku ulegną częściowemu utlenieniu (bez względu na ich stan skupienia w strumieniu gorących produktów spalania detonacyjnego);
- utworzone na powierzchni cząstek FeAl fazy tlenkowe, formowane będą w niejednorodnej fazowo, heterogenicznej strukturze powłok Fe-Al natryskanych na stal kotłową 15HM;
- udział faz tlenkowych może być spowodowany warunkami prowadzonego procesu DGS (w zależności od parametrów natryskiwania) i nie wpłynie na istotny wzrost porowatości struktury powłok FeAl, podnosząc ich twardość – kluczową w aspekcie odporności na zużywanie ścierne;
- wytworzona wielofazowa powłoka intermetaliczna na osnowie fazy FeAl (B2) z udziałem faz tlenkowych będzie się charakteryzować odmiennymi właściwościami termofizycznymi (liniowym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, przewodnością cieplną i ciepłem właściwym), w stosunku do homogenicznego materiału litego na osnowie fazy FeAl – wykazując też wysoką odporność na zużycie ścierne,

Przytoczone tezy można potraktować jako założenia. Analiza literatury wskazuje, m.in. że natryskane do wody cząstki proszku FeAl ulegają częściowemu utlenieniu (nie trzeba tej części tezy udowadniać), zmiana struktury zawsze powoduje zmianę właściwości materiału (zatem lity materiał i powłoka będą charakteryzować się odmiennymi właściwościami termofizycznymi, lecz różnice te nie muszą być istotne). W tym zakresie sugeruje się doprecyzowanie poszczególnych części tez, (np. w tezie trzeciej można dopisać w jakim zakresie przewiduje się rejestrowany wzrost twardości (o ile procent), w tezie czwartej o ile

procent nastąpi wzrost odporności na zużycie ścierne itp.). Uwaga ma charakter informacyjny i stanowi sugestię do doskonalenia przyszłych prac naukowych doktoranta. Wobec tak postawionych tez magister Tomasz Chrostek przyjął zakres badawczy rozprawy, obejmujący 4 główne etapy:

1. Etap pierwszy polegający na analizie strukturalnej z identyfikacją fazową materiału proszkowego i natryskanych powłok Fe-Al (DGS), ze szczególnym uwzględnieniem faz tlenkowych w strukturze badanego materiału;
   W toku realizacji badań strukturalnych Doktorant wykorzystał bardzo bogaty zestaw metod analizy instrumentalnej dla uzyskania jak najbardziej kompleksowej i wiarygodnej informacji. Są to: mikroskopia świetlna (LM), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) z mikroanalizą składu chemicznego (SEM/EDS) czy metoda dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD).
2. Etap drugi ujmował analizę właściwości termofizycznych i stabilności cieplnej powłok Fe-Al . W ramach prac badawczych, na tym etapie Dyplomant zastosował różnicową kalorymetrię skaningową (DSC), wykonał pomiary dylatometryczne (DIL) oraz pomiary dyfuzyjności laserową metodą impulsową (LFA).
3. Etap trzeci polegał na wykonaniu analizy struktury geometrycznej powierzchni. Mgr Tomasz Chrostek dokonał pomiarów rozkładu wielkości cząstek proszku przy pomocy analizatora laserowego IPS-UA oraz przeprowadził pomiary profilometryczne powierzchni geometrycznej powłok metodą stykową. Etapie trzecim Doktorant dokonał również pomiaru gęstości otrzymanych powłok.
4. Etap czwarty obejmował badania odporności na zużycie ścierne w warunkach tarcia suchego metodą pin-on disc. Przed realizacją badań testowych czwartego etapu doktorant wykonał pomiary mikrotwardości metodą Vickersa.

Metodyka badań została właściwie przedstawiona (rozdział 4), wszystkie etapy badań są bardzo dobrze scharakteryzowane. Wyniki badań zostały zaprezentowane w formie opisowej, stabelaryzowanej a także w postaci dokumentacji fotograficznej i wykresów. Uwagi krytyczne do tej części opracowania zostały przedstawione w przedostatnim punkcie recenzji. Dyplomant wykazał się umiejętnością przeprowadzania analiz, właściwego wnioskowania i formułowania poglądów. Zabrakło w części analitycznej i podsumowującej odniesienia się do postawionych tez badawczych, aczkolwiek wnioski są prawidłowo formułowane. Reasumując, stwierdzam, że rozbudowana część badawcza dysertacji stanowi bardzo

mocną stronę recenzowanego opracowania. Wybór narzędzi i wykorzystanych metod badawczych należy uznać za właściwy. Uzyskane wyniki umożliwiły realizację celu rozprawy, a doktorant wskazuje w podsumowaniu na ich potencjał aplikacyjny.

Praca jest merytorycznie poprawna, zarówno koncepcję, zakres badań jak i metodykę oceniam pozytywnie.

5. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Doktorant podjął się trudnego zadania identyfikacji obszaru badawczego, wymagającego skrupulatnego interdyscyplinarnego przeglądu literatury krajowej i zagranicznej z zakresu inżynierii materiałowej oraz budowy i eksploatacji maszyn. Wynikiem przeprowadzonej analizy materiałów źródłowych było niewątpliwie prawidłowe określenie celu dysertacji jak i dobranie metod badawczych a także skorygowanie metodyki badawczej prezentowanej w literaturze, w celu uzyskania komplementarności wyników, np. w przypadku pomiarów termofizycznych (s. 76 dysertacji).

Wymiernym efektem przeprowadzonych i zaprezentowanych przez Doktoranta prac naukowo-analitycznych w drugiej części dysertacji było: opracowanie charakterystyk proszków i powłok DSG na osnowie fazy FeAl i wskazane powiązania pomiędzy technologią natryskiwania, parametrami procesu (w tym długością lufy pistoletu) otrzymywaną strukturą powłok zawierającą wtrącenia tlenkowe a właściwościami wytworzonych wielowarstwowych struktur, ze szczególnym uwzględnieniem ich odporności na zużycie ścierne, co stanowi istotny wkład naukowy do dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn. Chociaż Doktorant nie podaje przykładów aplikacji, można jednoznacznie stwierdzić, że wyniki opracowania mogą znaleźć zastosowanie praktyczne. Przedstawione właściwości technologiczne powłok na osnowie fazy FeAl , wytworzonych w określonych warunkach procesu detonacji gazowej, w tym właściwości strukturalne, termofizyczne i odporności na zużycie ścierne w warunkach tarcia suchego, mogą stanowić podstawę doboru parametrów procesu DGS w celu wytworzenia warstw ochronnych charakteryzujących się założonym z góry zespołem korzystnych właściwości dla wybranych zastosowań przemysłowych.

Prezentowane przez Doktoranta osiągnięcie ma charakter utylitarny i może zostać wykorzystane podczas wspomagania procesu doboru konstrukcji pistoletu (długości lufy) do zadań związanych z wytworzeniem

powłok ochronnych o zadanej charakterystyce odporności na zużycie ścierne . Opracowane rozwiązanie i przedstawione wyniki charakteryzuje zatem przydatność praktyczna.

6. Uwagi krytyczne

Chciałabym przedstawić kilka uwag krytycznych w formie pytań do treści recenzowanej dysertacji:

1. Badane przez doktoranta fazy międzymetaliczne mogą mieć bardzo różnorodne zastosowania. Przeznaczenie materiałów powinno stanowić jedno z kryteriów wyboru zarówno metod jak i metodyki badawczej otrzymanych powłok. Z treści pracy i doboru badań nie wynika jednoznacznie, na jakie elementy i pracujące w jakich warunkach autor chciałby zastosować otrzymane powłoki. Na s. 57 autor jedynie lapidarnie wspomina, że „badany typ powłok znajduje zastosowanie w warunkach zużywania ściernego w węzłach tarcia suchego w przemyśle maszynowym i / lub automotive" . Ta część opracowania wymaga doprecyzowania. Czy mogłabym prosić Doktoranta o ustosunkowanie się do tego zagadnienia podczas obrony pod kątem takich informacji jak:
   - Wybór, jako materiału podłoża dla natryskiwanych powłok, stali kotłowej 15HM przeznaczonej do pracy w temperaturze podwyższonej i wysokiej, m.in. w kotłach energetycznych (czy rozszerzalność cieplna materiału podłoża i powłoki ma wpływ na przedstawione wyniki badań, dlaczego zatem wybrano tę stal jako podłoże?)
   - wyznaczenia odporności na zużycie ścierne w warunkach tarcia suchego, w temperaturze otoczenia i przy wilgotności powietrza wynoszącej 50%. Czy te warunki są związane z planowaną eksploatacją badanych powłok? Jaki materiał wybrano na przeciwpróbkę w teście i dlaczego?
   - Na stronie 75 napisał Pan, że istotnym problemem, staje się poszukiwanie takich cech mikrostruktury, które opisują możliwie najpełniej dany materiał i decydują o jego właściwościach użytkowych. Czy mógłby Pan wyjaśnić użyte pojęcie: cechy mikrostruktury i wyjaśnić, które z "tych cech" Pan poszukuje, w kontekście własności użytkowych, jakie powinny spełniać materiały przeznaczone do pracy w przemyśle maszynowym i automotive?

Praca przedstawia własności technologiczne powłok. Właściwości użytkowe można określić tylko pod kątem danego zastosowania. W jaki sposób dokonał Pan selekcji badanych własności użytkowych?

2. Niektóre z wykresów zamieszczonych w opracowaniu są niezrozumiałe. Przykładowo, wzajemna relacja udziału nieodkształconych plastycznie cząstek proszku i porowatości struktury powłok Fe-Al (DGS) na podstawie uśrednionych wyników pomiarów powłok natryskanych z użyciem działa o różnej długości lufy jest przedstawiona w postaci wykresu, gdzie wyniki pomiarów dotyczące powłok, otrzymanych przy innych parametrach natryskiwania są połączone. Czy mógłby Pan wytłumaczyć, co w takim przypadku przedstawiają wartości pośrednie na tak opracowanym wykresie?
3. Podobne spostrzeżenie dotyczy rys. 5.7 dotyczącego proszków natryskanych do wody.
4. Jakie jest powiększenie na rysunku 4.1 a i b?
5. Jakie było pole analizy w badaniu orientacji krystalograficznej ziaren metodą EBSD? Czy pole to można uznać za reprezentacyjne dla całej próbki?
6. Napisał Pan, że nieodkształcone plastycznie cząstki proszku zakotwiczone w strukturze powłoki mogą się również wykruszać podczas eksploatacji. Wykruszanie to prowadzi do "powstawania dużych porów, będących źródłem gromadzenia się wtrąceń niemetalicznych" (s.127). Uprzejmie proszę o krótki komentarz wyjaśniający, jak w porach powłoki podczas eksploatacji gromadzą się wtrącenia niemetaliczne?
4. Na s.76 Doktorant napisał "Dlatego też, tym razem w badaniach własnych, zwrócono szczególną uwagę na to, by do każdego typu badań użyć różnych próbek tej samej powłoki i by rozpoczynać badania od stanu pierwotnego " Doktorant jednak nie precyzuje ilości próbek. Czy mogę prosić o dane liczbowe dotyczące ilości przygotowanych próbek do poszczególnych badań strukturalnych i podanie ich wymiarów?
5. Na s. 59 Doktorant napisał "użyto zaawansowane metodyki badawcze, między innymi: skaningowy mikroskop elektronowy (…), dyfraktometr rentgenowski Rigaku Ultima IV (analiza fazowa), kalorymetr DSC NETZSCH 204 F1 Phoenix z oprogramowaniem Netzsch Analysis oraz Netzsch Proteus (ciepło właściwe), (…) aparat laserowy NETZCH LFA457 (dyfuzyjność)" itd. " W jednym zdaniu zostały wymienione narzędzia i aparatura badawcza, czasami parametry (np. ciepło właściwe), czasami niepełne nazwy metod badawczych (np. analiza fazowa, zamiast rentgenowska

analiza fazowa) lub rodzaj badań (np. badania strukturalne). W związku z tym, uprzejmie proszę o wyjaśnienie, co rozumie Doktorant pod pojęciem metodyka badawcza a co pod pojęciem metoda badań.

6. Co oznacza skrót „WW materiału" (s. 17, 18, 29…), np. Użytego w sformułowaniach: " modyfikacji WW materiału", "posiada ona słabo rozwiniętą WW materiału podłoża"
7. Użyte materiały do natryskiwania gazodetonacyjnego powłok były domieszkowane cyrkonem. Jak, Pana zdaniem, taka modyfikacja wpłynęła na uzyskane wyniki badań? Czemu w wynikach strukturalnych związków cyrkonu nie stwierdzono?
8. W podsumowaniu nie ustosunkował się Pan do zaproponowanych tez. Analiza opisowa uzyskanych wyników badań a także prezentowane wyniki opracowane w formie graficznej (5.46, 5.51) wskazują na zależność pomiędzy długością lufy pistoletu dobranego podczas natryskiwania powłok a uzyskaną odpornością na zużycie ścierne otrzymanych powłok. W opracowaniu nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy uzyskanymi wynikami pomiaru mikrotwardości powłok a ich odpornością na zużycie ścierne. Proszę o komentarz, czemu Pana zdaniem pomiary twardości nie przekładają się na wyniki testu disk on pin? Jak to się ma do postawionej 3 tezy badawczej?
9. Jakie planuje Pan kierunki badań przyszłościowych, w zakresie kształtowana powłok faz międzymetalicznych z udziałem ceramiki tlenkowej?

Przy tak kompleksowym i obszernym opracowaniu nie sposób było uniknąć drobnych uwag edycyjno-językowych, czy terminologicznych. Dyplomant przykładowo używa sformułowań:

- "podwyższonych i wysokich temperaturach" można pisać w zakresie temperatur lub w podwyższonej i wysokiej temperaturze (nie stosuje się liczby mnogiej);
- "odpornością na ścieranie"(s.3; s.155) lepiej byłoby odpornością na zużycie ścierne;
- na stronie 59 podano, że przedmiotem badań były powłoki Fe-Al oraz proszek na osnowie fazy FeAl. Jednak zapisy na kolejnych stronach pracy się zmieniają. Autor pisze o cząstkach proszku FeAl (DGS) s. 108, cząstkach Fe-Al natryskanych do wody (prawdopodobnie chodzi o ziarna proszku) s.107, czy powłoce FeAl (s.119). Zapisy te sugerują raz jednorodny proszek/powłokę fazy FeAl innym razem materiał na osnowie fazy FeAl lub materiał

złożony zawierający w swej strukturze fazy z układu Fe-Al. Sugeruję w przyszłych opracowaniach naukowych sposób zapisu ujednolicić.

- Laserowa metoda impulsowa jest podawana raz jako LFA a raz jako FLA (oba skróty na s. 86)
- Jednostki są zapisywane raz ze spacjami (prawidłowo) np. 50 % at. a innym razem bez spacji, np. Fe40Al %at. (s.160); z nawiasami 48)% at (s. 101); o 45 %at (s.102) itd.
- Na s. 8 napisano, że gęstość stopów na osnowie faz międzymetalicznych wynosi „5,7 do 6,7 g cm^{-3} ” .
- Na rysunkach 5.35; 5.36; 5.38; 5.39;5.40 itd. występują nazwy w języku angielskim. Dlaczego nie podano oznaczeń w języku polskim?

W pracy zdarzają się również literówki, np. „detonacyjnego0” (s. 161) s. i skróty myślowe, np.:

- „Badania natryskiwania gazodetonacyjnego wszystkich dostarczonych materiałów badawczych przeprowadzono
  z użyciem działa detonacyjnego „Perun-S” – przez promotora pracy doktorskiej C. Senderowskiego (w ramach Jego 3-miesięcznego stażu naukowego w Instytucie Patona Ukraińskiej Akademii Nauk w Kijowie)” – ze zdania wynika, że badania przeprowadził promotor pracy, będący na stażu.
- Inny przykład: s.29 „ w badanej strefie powłoki uległej delaminacji, (rys. 5.22), przez co powłoka staje się praktycznie bezużyteczna, nawet jeżeli potencjalnie posiada bardzo dobre właściwości użytkowe.” Powłoka, która uległa delaminacji nie może posiadać (nawet potencjalnie) dobrych właściwości użytkowych. Prawdopodobnie chodziło o zwrot „nawet, jeśli zakładano, że wytworzona powłoka posiada bardzo dobre właściwości użytkowe”

Uwagi należy potraktować jako wskazówkę do doskonalenia kolejnych opracowań publikacyjno-naukowych autora.

4. Wnioski końcowe

Reasumując potwierdzam, że Doktorant w toku realizacji dysertacji wykazał się wiedzą teoretyczną, a także umiejętnością samodzielnego zaplanowania i wykonania badań oraz przeprowadzenia analiz

i interpretacji wyników, jak również formułowania wniosków zarówno o charakterze ogólnym jak i szczegółowym. Stwierdzam jednoznacznie, że Doktorant posiada kompetencje niezbędne do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedstawione uwagi krytyczne do rozprawy nie wpływają w stopniu znaczącym na pozytywną ocenę merytorycznej treści dzieła. Praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego Doktoranta, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Przedstawione wyniki mają potencjał aplikacyjny.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra Tomasza Chrostka pt.: „ Właściwości termofizyczne wielofazowej struktury powłok FeAl (DGS) z udziałem ceramiki tlenkowej i jej wpływ na zużywanie ścierne w warunkach tarcia suchego" spełnia wymagania określone w art.187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) oraz mieści się w obszarze badań właściwym dla dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn. Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy doktorskiej na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Bożena Szczucka-Lasota