

Rzeszów, 08.07.2025r.

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



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Damiana KOSZELOWA

pt.: „Wysokotemperaturowa korozja porowatych stali ferrytycznych”

**- podstawa opracowania recenzji – uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria
Materiałowa Politechniki Gdańskiej z dnia 28.04.2025 r. (pismo z dnia 29.04.2025r.)**

Ogólna charakterystyka rozprawy

Metale i ich stopy ze względu na swoje unikatowe właściwości fizyczne i chemiczne znajdują szerokie zastosowanie w strategicznych sektorach gospodarki, jak np. lotniczym, kosmicznym, energetycznym i innych. Jednym ze sposobów pozyskiwania energii elektrycznej jest technologia bazująca na ogniwach stałotlenkowych (solid oxide cells – SOC). W ogniwach tych stopy metali pełnią nie tylko funkcję konstrukcyjną, lecz także stanowią tzw. interkonektory. Zamiana zaawansowanych materiałów ceramicznych na komponenty metalowe umożliwia obniżenie kosztów produkcji oraz zwiększa odporność na szybkie zmiany temperatury. Jednakże stosowanie stopów w warunkach typowych dla SOC, tj. w warunkach wysokiej temperatury i atmosferze utleniającej wiąże się z nieuniknionym tworzeniem się na powierzchni metali powłok tlenkowych, co ogranicza potencjalną trwałość urządzenia. Najbardziej obiecującymi stopami używanymi w ogniwach stałotlenkowych są ferrytyczne stopy na osnowie żelaza z zawartością chromu na poziomie ponad 20 % masowych. Powodem tego jest dobra kombinacja właściwości mechanicznych oraz fakt, że w warunkach pracy SOC na ich powierzchni tworzy się pasywna warstwa tlenku chromu (Cr_2O_3). Tlenek ten klasyfikowany jest jako tlenek ochronny jak również, co ważne z punktu widzenia zastosowania w ogniwach stałotlenkowych, charakteryzuje się stosunkowo wysoką przewodnością elektryczną wśród tlenków metali przejściowych. Dzięki temu stopy te zapewniają wystarczającą przewodność elektryczną podczas pracy SOC. Ze względu na potrzebę zmniejszenia masy ogniw stałotlenkowych jak również zwiększenia powierzchni właściwej dużym zainteresowaniem cieszą się

porowate stopy metali. Jednakże ze względu na duży stopień rozwinięcia powierzchni oraz ryzyko małego rezerwuaru pierwiastków tworzących tlenki ochronne dalsze badania nad ich trwałością oraz modelowaniem tejże trwałości są wymagane. Odpowiedzią na takie zapotrzebowanie jest niniejsza praca doktorska. Podjęta problematyka recenzowanej dysertacji doskonale wpisuje się w ten nurt badań, dlatego w mojej ocenie jest aktualna i warta zgłębiania.

Podstawą opracowania planu badawczego przyjętego w pracy była analiza dostępnych danych literaturowych dotyczących materiałów metalicznych stosowanych w warunkach wysokiej temperatury i obecności gazów utleniających, poczynając od pierwszych prób opisu procesu korozji gazowej (lata 1920) po dzień dzisiejszy. W swojej dysertacji Autor wprowadził czytelnika w problematykę procesu korozji wysokotemperaturowej po czym przedstawił rys historyczny rozwoju badań nad tematyką korozji gazowej. W kolejnej części Doktorant przedstawił zagadnienia termodynamiczne procesu korozji gazowej jak również opisał kinetykę tegoż procesu oraz sposoby jej wyznaczania. Następnie poruszył zagadnienia mechanizmów procesu utleniania po czym przeszedł do opisu wpływu mikrostruktury stopów na ich żaroodporność. Szczegółowo opisał również procesy dyfuzji objętościowej oraz po granicach ziaren. Kolejno w sposób wyczerpujący opisał zastosowanie porowatych stopów oraz sposoby modelowania trwałości stopów ferrytycznych. Autor zauważył, iż większość modeli matematycznych do oceny trwałości badanych stopów dotyczyły przypadku materiałów litych, nie porowatych.

W swojej rozprawie Autor postawił 2 tezy:

1. Możliwe jest stworzenie modelu prognozowania trwałości porowatych stopów ferrytycznych tworzących tlenek chromu w oparciu o krótkotrwałe eksperymenty wysokotemperaturowe,
2. Możliwe jest wydłużenie trwałości porowatych stopów ferrytycznych tworzących tlenek chromu, do zastosowań w SOC poprzez przeprowadzenie wstępnego procesu utleniania.

Główną oś części eksperymentalnej pracy stanowiły badania nad określeniem kinetyki procesu korozji gazowej porowatych stopów ferrytycznych o różnym stężeniu chromu, mianowicie Fe20Cr, Fe22Cr i Fe27Cr. Wyniki uzyskane podczas krótkotrwałych procesów utleniania wysokotemperaturowego stanowiły podstawę opracowania matematycznego modelu do przewidywania trwałości badanych stopów. Następnie Doktorant przeprowadził badania nad wpływem utleniania wstępnego na trwałość stopu Fe22Cr. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazały na zwiększenie trwałości badanego stopu poprzez zastosowanie procesu utleniania wstępnego. W celu potwierdzenia możliwości wykorzystania korzystnego efektu wstępnego utleniania porowatego stopu w układach MS-SOC, przeprowadzono połączenia szklano-ceramiczne składające się z porowatego stopu Fe22Cr i stopu Crofer 22 APU w formie litej. Uzyskane wyniki ponownie wskazały pozytywny wpływ wstępnego utleniania stopu porowatego Fe22Cr na trwałość badanego układu. W mojej opinii tak zaplanowany, przeprowadzony i przedstawiony ciąg prac przedstawiający badania nad modelowaniem trwałości porowatych stopów ferrytycznych w układzie FeCr, sposób

zwiększenia tejże trwałości poprzez zastosowanie procesu wstępnego utleniania i finalnie analizie zachowania badanych stopów w układach, jakie stosuje się w ogniwach stałotlenkowych świadczy o wysokich zdolnościach Doktoranta w zakresie planowania eksperymentów, ich prowadzenia oraz zdolność do wyciągania poprawnych wniosków w oparciu o uzyskane wyniki.

Uważam za istotne nadmienić, że powyższe wnioski sformułowano na podstawie analizy wyników badań obejmujących szereg metod badawczych, takich jak: dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM), transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM), spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS), tomografii synchrotronowej oraz analizy stopnia odparowania tlenku chromu.

W podsumowaniu tej części recenzji mogę stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Koszelowa zawiera wartościowe wyniki o charakterze poznawczym, które mogą w przyszłości przyczynić się do opracowania nowych materiałów porowatych stosowanych w sektorze energetycznym, szczególnie w technologii ogniw stałotlenkowych.

Szczegółowa charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Koszelowa pt. „*Wysokotemperaturowa korozja porowatych stali ferrytycznych*” dotyczy kompleksowych badań porowatych stopów ferrytycznych w układzie FeCr o stężeniu chromu powyżej 20% masowych w warunkach zbliżonych do warunków pracy ogniw stałotlenkowych, tj. w wysokiej temperaturze (zakres temperatury 600 do 900°C) oraz atmosferze gazów utleniających. Praca ma formę zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Niemniej jednak Autor opatrzył ją wyczerpującym opracowaniem własnym (45 stron), w którym przedstawił: wyczerpujący przegląd literatury w obszarze tematyki pracy, cel pracy i tezę badawczą, a także zakres, metodykę i wybrane wyniki badań. Opracowanie to wieńczy wykaz publikacji stanowiących podstawę pracy doktorskiej, przy czym warto nadmienić, że każda z publikacji opatrzona jest zwięzłym opisem każdej z nich. W mojej ocenie, ta część rozprawy wyczerpująco charakteryzuje podjętą problematykę, na tle której Autor odpowiednio umotywowwał zakres swoich badań. Co więcej, umiejętnie przedstawił i omówił wyniki badań opublikowane w załączonym cyklu artykułów naukowych, dowodząc ich spójności tematycznej.

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Damiana Koszelowa podzielono na 6 rozdziałów, pomijając streszczenia i wykazy skrótów stosowanych w pracy oraz pozycje literaturowe (88 pozycji). W części tej ujęto 20 rysunków i 2 tablice. Całość uzupełnia 5 załączników stanowiących powiązane tematycznie publikacje naukowe współautorstwa Doktoranta. Warty podkreślenia jest fakt, iż doktorant jest pierwszym autorem w 4 z 5 wykazanych publikacji

naukowych. Również prestiż i poziom czasopism, w których Doktorant opublikował wyniki swoich badań jest wart uwagi.

W rozdziale 1. – „Introduction” – Autor przybliżył problematykę procesu korozji gazowej, jak również historyczny rozwój badań nad problematyką korozji gazowej (wysokotemperaturowej). Opisał główne okoliczności powodujące gwałtowny rozwój prac nad korozją wysokotemperaturową, tj. rewolucję przemysłową i pojawienie się lokomotyw parowych, oraz silników spalinowych. W swoim opisie Autor ujął również pierwsze prace opisujące proces korozji gazowej jako taki oraz kinetykę tego procesu. Opisane zostały prace m.in. Tammana, Pillinga i Bedwortha, Pfeila oraz Wagnera. W kolejnych podrozdziałach opisano mechanizmy procesu korozji gazowej ze szczególnym ujęciem aspektu termodynamicznego oraz kinetycznego. Opisane zostały sposoby wyznaczania entalpii jak również przybliżono diagram Ellinghama. Opisano również dwa podstawowe prawa kinetyki procesu korozji gazowej, mianowicie prawo liniowe oraz paraboliczne. Kolejno Autor opisał po krótko mechanizmy wzrostu powłok tlenkowych, wskazując mechanizmy odrzdeniowy i dordzeniowy. Następnie przedstawił wpływ mikrostruktury na żaroodporność stopów. Przybliżył czytelnikowi żaroodporność stopów ferrytycznych z układu FeCr oraz austenitycznych z układu FeCrNi. Kolejno wprowadzony został opis mechanizmów dyfuzji w ciele stałym. W pierwszej kolejności Doktorant opisał proces dyfuzji poprzez ziarno oraz po granicach międzyziarnowych. Następnie przeszedł płynnie do opisu dyfuzji w powłoce tlenkowej oraz w stopie. Kolejna część dotyczyła porównania stopów litych oraz porowatych i finalnie podrozdział 1.4 traktował o zastosowaniu stopów porowatych. Autor wskazał, że stopy porowate mają szerokie spektrum zastosowania. Jako potencjalne obszary zastosowania stopów porowatych wskazał produkcję filtrów, separatorów cieczy, wymienników ciepła, pochłaniaczy dźwięku lub ogniwo stałotlenkowych. Szeroko przedyskutowane zostały aspekty wymagań stawianych stopom stosowanym w ogniwo stałotlenkowych, tj. ich właściwości mechaniczne żaroodporność i przede wszystkim przewodnictwo elektryczne produktów reakcji w trakcie procesu korozji gazowej. W ostatnim podrozdziale części literaturowej Doktorant przedstawił istniejące modele matematyczne pozwalające na przewidywanie trwałości stopów metali w warunkach korozji gazowej. Przedstawione zostały podejścia Davida Younga, Pawła Huczковского oraz Christiny Asensio-Jimenez. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, iż modele te oparte były na wynikach uzyskanych dla stopów metali w formie litej. Następnie Autor przytoczył model opracowany przez Antona Chyrkina, który dotyczył stopu niklu w formie pianki. W mojej ocenie przegląd literaturowy opracowany przez Doktoranta doskonale wprowadził czytelnika w tematykę badawczą jak również jednoznacznie wskazał motywację do przeprowadzenia badań ujętych w niniejszej dysertacji.

W rozdziale 2 zatytułowanym „Objective and hypothesis” Autor przedstawił cel swojej dysertacji jak również przedstawił 2 tezy badawcze. Doktorant stwierdził, że:

1. Możliwe jest stworzenie modelu prognozowania trwałości porowatych stopów ferrytycznych tworzących tlenek chromu w oparciu o krótkotrwałe eksperymenty wysokotemperaturowe,
2. Możliwe jest wydłużenie trwałości porowatych stopów ferrytycznych tworzących tlenek chromu, do zastosowań w SOC poprzez przeprowadzenie wstępnego procesu utleniania.

Rozdział 3 zawiera wykaz publikacji będących clue niniejszej dysertacji:

[DK1] D. Koszelow, M. Makowska, F. Marone, J. Karczewski, P. Jasinski, S. Molin, High temperature corrosion evaluation and lifetime prediction of porous Fe22Cr stainless steel in air in temperature range 700–900 °C, Corrosion Science 189 (2021) <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2021.109589>.

[DK2] D. Koszelow, S. Molin, J. Karczewski, F. Marone, M. Makowska, Morphology changes in Fe-Cr porous alloys upon high-temperature oxidation quantified by X-ray tomographic microscopy, Materials & Design 215 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110492>.

[DK3] D. Koszelow, M. Makowska, A. Drewniak, G. Cempura, P. Jasiński, S. Molin High-temperature corrosion of ~ 30 Pct porous FeCr stainless steels in air: long-term evaluation up to breakaway Metallurgical and Materials Transactions A (2023) <https://doi.org/10.1007/s11661-023-07005-z>.

[DK4] D. Koszelow, M. Makowska, F. Marone, G. Cempura, M. Tomas, J. Froitzheim, S. Molin Pre-Oxidation of Porous Ferritic Fe22cr Alloys for Lifespan Extension at High Temperature Corrosion Science (2024)

[DK5] F. D’Isanto, M. Salvo, S. Molin, D. Koszelow, H. Javed, S. Akram, A. Chrysanthou, F. Smeacetto, Glass-ceramic joining of Fe22Cr porous alloy to Crofer22APU: interfacial issues and mechanical properties, Ceramics International 48 (2022)

Autor co prawda nie przytaczał danych bibliometrycznych czasopism, w których zostały opublikowane przytoczone prace, jednak ze względu na wysoką ich renomę pozwolę sobie je przybliżyć. Czasopismo Corrosion Science posiada IF=8,5 i 140 pkt MNiSW (2 prace), Materials & Design: IF=7,9, 140 pkt MNiSW (1 praca), Metallurgical and Materials Transaction A: IF=2,5, 200 pkt MNiSW (1 praca) oraz Ceramics International: IF=5,6, 100 pkt MNiSW (1 praca). Zatem łączna liczba punktów MNiSW ciągu prac będących podstawą niniejszej dysertacji wynosi 720, natomiast sumaryczny IF = 33. W mojej ocenie dane te podkreślają poziom niniejszej pracy, szczególnie biorąc pod uwagę fakt iż Doktorant jest na początkowym stadium swojej pracy naukowej.

W rozdziale 4 opisano techniki eksperymentalne oraz metody analityczne zastosowane w niniejszej pracy. Opisem objęto: pomiar porowatości stopów, próby korozji gazowej, analizę składu

fazowego (XRD), mikrostruktury (SEM/EDX oraz TEM), tomografii synchrotronowej, odparowania tlenku chromu oraz preparatykę i badania połączenia szklano-ceramicznego.

Rozdział 5 zawiera kopie publikacji wraz ze zwięzłym opisem wyników w nich uzyskanych. Na podstawie przedstawionych publikacji wnioskować można, że skład chemiczny badanych stopów został dobrany na podstawie wymagań materiałowych, które muszą być spełnione w zastosowaniach w ogniwach stałotlenkowych. W związku z tym w pracach uwzględniono porowate stopy zawierające chrom o stężeniach w zakresie od 20% do 27% masowych. Jak wskazano w części literaturowej istnieje ograniczona liczba publikacji dotyczących oceny trwałości tych porowatych stopów. Zazwyczaj okres ich trwałości w określonych warunkach utleniania jest oceniany na podstawie długoterminowych testów korozji gazowej. Według obecnej wiedzy, stopy ferrytyczne zawierające chrom osiągają granicę swojej trwałości, gdy zawartość Cr spada do około 15% masowych, głównie z powodu powstawania tlenku chromu. Dodatkowo, profil stężenia chromu wewnątrz tych stopów jest wyrównany i płaski. Stąd w niniejszej pracy zaproponowano model w oparciu o testy krótkoterminowe. Model przewidywania trwałości został opracowany na podstawie danych uzyskanych podczas 100-godzinnej eksploatacji porowatego stopu Fe22Cr w temperaturach od 700°C do 900°C [DK1]. Mikrostrukturalne przemiany tego stopu w temperaturze 850°C i 900°C oceniono za pomocą tomografii synchrotronowej, opisanej w źródle [DK2]. Z kolei eksperymentalne potwierdzenie skuteczności tego modelu przedstawiono w [DK3], gdzie przeprowadzono długoterminowe testy korozji gazowej w zakresach temperaturowych od 600°C do 900°C na trzech wybranych składach chemicznych: Fe20Cr, Fe22Cr i Fe27Cr. Standardowa trwałość ogniwa tlenkowego stałego wynosi około 40 000 godzin. W związku z tym, żywotność porowatych stopów w wysokich temperaturach musi być zwiększona, aby umożliwić wymianę elementów ceramicznych. Zatem pierwsza postawiona teza badawcza została potwierdzona. Ponieważ wykazano, że modyfikacja dyfuzji ziarna i granic ziaren tlenku chromu może poprawić żaroodporność stopów litych, zatem przyjęto, że żaroodporność stopów porowatych można zwiększyć poprzez zastosowanie procesu utleniania wstępnego prowadzącego do formowania gruboziarnistej warstwy tlenku chromu, a co za tym idzie o zredukowanej gęstości granic międzyziarnowych. Wpływ procesu wstępnego utleniania (przeprowadzanego w temperaturze 850°C i 900°C) na właściwości korozyjne porowatego stopu Fe22Cr przeprowadzono w pracy [DK4]. Oceniono w niej możliwość wydłużenia trwałości porowatych stopów, które wstępnie utleniano w temperaturze 700°C, i porównano je z próbkami bez wcześniejszego utleniania. Wykazano skuteczność zastosowanego procesu wstępnego utleniania. Na podstawie wyników z [DK4], zostały wykonane połączenia szklano-ceramiczne porowatego Fe22Cr z gęstym Crofer 22 APU. Struktura ta jest porównywalna z systemem uszczelniającym MS-SOC. Kompleksowe badania systemu MS-SOC, składającego się z wstępnie utlenionego porowatego stopu Fe22Cr, przedstawiono w [DK5]. Testy starzenia tego systemu, wykonywane w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, przeprowadzono w temperaturze 700°C, czyli temperaturze roboczej

IT-SOC. Ponownie wykazano pozytywny wpływ procesu wstępnego utleniania stopu porowatego na trwałość badanego systemu. Zatem również i druga teza została w pełni potwierdzona.

Pracę kończy rozdział 6, w którym zawarto wnioski wysnute w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań.

W podsumowaniu szczegółowej charakterystyki rozprawy mogę stwierdzić, że przyjęty przez Doktoranta zakres badań i jego realizacja pozwoliły na osiągnięcie celu sformułowanego w rozdziale 2. Nakład pracy Autora w przygotowanie rozprawy przyniósł bardzo dobry efekt w postaci zwartej monografii, pomimo przyjętej formy zbioru wybranych artykułów naukowych. Należy podkreślić, że mgr inż. Damian Koszelow jest pierwszym Autorem w 4 na 5 publikacji, co świadczy o wiodącej roli w zespole autorów. Oświadczony przez Niego wkład w przygotowanie tych publikacji jak i spójność ich tematyki pozwala mi uznać je za jedno osiągnięcie naukowe. Sposób prowadzenia dyskusji wyników, zarówno w tekście rozprawy, jak i załącznikach, dowodzi o dobrym zrozumieniu podejmowanych zagadnień. Pomimo tego Autor nie ustrzegł się jednak drobnych błędów opracowując swoją dysertację. Część z nich pozwolę sobie przytoczyć i poprosić Doktoranta o komentarz:

1. Na stronie 24 doktorant stwierdził, że dordzeniowy mechanizm utleniania jest zjawiskiem niepożądanym ze względu na dyfuzję tlenu poprzez warstwę tlenkową i skutkującą zjawiskiem wewnętrznego utleniania. Jednocześnie doktorant stwierdził, że mechanizm odrdzeniowy jest wysoce pożądanym ze względu na zapewnienie „integralności strukturalnej” warstwy tlenkowej, rozumiem. Czy rzeczywiście tak jest? Prosiłbym o głębszą dyskusję na ten temat w odniesieniu do założeń teorii Wagnera: czy mechanizm dordzeniowy rzeczywiście jest bardziej niekorzystny niż odrdzeniowy? I czy w przypadku mechanizmu odrdzeniowego nie napotyka się zjawiska utleniania wewnętrznego? Proszę skomentować co jest bezpośrednią przyczyną utleniania wewnętrznego materiałów.
2. Na stronie 28 Doktorant stwierdził, że, cytując: „In the case of austenitic FeCrNi alloys, it has been demonstrated that they are chromia-forming alloys that exhibit excellent oxidation resistance at the temperature range from 1000°C to 1300°C because of formation of protective Cr_2O_3 on their surface [38,39].”. W pracy [39] autorzy badali stopy w zakresie temperatury 800-900°C. Z kolei w [38] co prawda żaroodporność stopów badano w temperaturze 1000°C, 1050°C, 1100°C i 1150°C, jednak dla $T=1050^\circ\text{C}$ i więcej odnotowano zjawisko korozji katastrofalnej już po upływie 6 godzin dla temperatury 1050°C, a dla wyższej po krótszym czasie. Skąd zatem stwierdzenie o doskonałej żaroodporności w zakresie temperatury 1000°C do 1300°C? Ponadto proszę Doktoranta o komentarz dotyczący zasadności stosowania stopów typu „chromia former” w wysokiej temperaturze. Czy istnieje limit temperatury stosowania wspomnianych stopów? Jeśli tak, to proszę o zwięzłe wyjaśnienie przyczyn takiego limitu.

3. Na stronie 31 Doktorant napisał, że: „It leads to the formation of a dense, continuous, and protective oxide scale, which effectively isolates the underlying alloy from further oxidation.”. Takie stwierdzenie sugeruje, że uformowanie się powłoki tlenkowej Cr_2O_3 zupełnie zatrzymuje proces korozji gazowej, co nie jest prawdą. Jedynie znacznie spowalnia kinetykę tego procesu.
4. Na stronie 35 Autor jako jednostkę współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej wpisał „ppm” (part per milion) zamiast „pm” (pikometr). Uważam jednak, że jest to błąd edytorski.
5. Na stronie 41 Doktorant wskazał, że badaniom poddał stopy z układu FeCr o stężeniu chromu w zakresie 20 wt. % do 26 wt.%, podczas gdy w rzeczywistości górnym stężeniem Cr było 27 % masowych (praca [DK3]).
6. W pracy dotyczącej wpływu zastosowania procesu wstępnego utleniania na żaroodporność porowatych stopów Fe22Cr Doktorant przyjął 2 wartości temperatury dla procesu wstępnego utleniania, mianowicie 850°C i 900°C. Proszę o komentarz jakimi kryteriami kierował się przy doborze tych wartości temperatury. Dlaczego nie zastosowano temperatury np. 1000°C lub nawet 1100°C?

Ponadto Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów edytorskich. Niemniej jednak, w mojej ocenie, zauważone uchybienia nie obniżają poziomu naukowego niniejszej dysertacji.

Ocena końcowa

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Damiana Koszelowa niewątpliwie stanowi oryginalne rozwiązanie podejmowanego przez Niego problemu naukowego. Jego podstawą są dobrze zaplanowane i systematycznie realizowane prace badawcze. Autor zdefiniował cele badawcze, które w mojej ocenie zostały osiągnięte – wykazano, że możliwe jest stworzenie modelu predykcji trwałości porowatych stopów ferrytycznych w oparciu o krótkotrwałe procesy eksperymentalne. Poprawność modelu została zweryfikowana poprzez eksperymenty długotrwałe. Ponadto wykazano, że zastosowanie procesu wstępnego utleniania zwiększa trwałość badanych stopów z układu FeCr. Skuteczność tego zabiegu potwierdzono zarówno na próbkach laboratoryjnych jak również w układzie zbliżonym do warunków stosowania materiałów metalicznych w ogniwach stałotlenkowych. To z kolei moim zdaniem zwiększa poziom opisanych osiągnięć Doktoranta.

Rozprawę opracowano w przemyślany sposób, ułatwiający ocenę osiągnięcia naukowego, w postaci zbioru publikacji powiązanych tematycznie. Podkreślić należy duży stopień oddziaływania i prestiż czasopism naukowych, w których je opublikowano – ich sumaryczny IF = 33 a sumaryczna liczba punktów MNiSW wynosi 720. Stanowią one spójną całość, potwierdzając przy tym systematyczność w realizacji przez Doktoranta założonego planu badawczego. Przedstawione w nich wyniki mają dużą wartość poznawczą. Stąd rozprawa doktorska zatytułowana



„*Wysokotemperaturowa korozja porowatych stali ferrytycznych*” w mojej ocenie, pomimo moich uwag, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z późniejszymi zmianami. Wnioskuje zatem do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie mgr. inż. Damiana Koszelowa do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Ponadto, mając na względzie wysoki poziom naukowy zrealizowanych badań, ich interdyscyplinarny charakter, walory poznawcze i aplikacyjne uzyskanych wyników, a także wysoką rangę czasopism, w których je opublikowano, wnoszę również o wyróżnienie Jego rozprawy.

Nowak Wojciech