

Prof. dr hab. inż. Jerzy Nowacki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Instytut Inżynierii Materiałowej
Al. Piastów 19, 70 - 310 Szczecin

Szczecin, dnia 18 Lutego 2021 roku

R E C E N Z J A **pracy doktorskiej**

Mgr inż. Andrzeja Gradzika
pod tytułem

Kształtowanie mikrostruktury i właściwości użytkowych warstw ochronnych WC-Co-Cr-W i WC-Ni-Cr-Co-Ta-Al na podłożu nadstopu Inconel 738LC wytworzonych wiązką promieniowania laserowego

wykonanej pod opieką naukową
promotora Pana Prof. dr hab. inż. Jana Sieniawskiego i promotora pomocniczego Pani dr hab. inż.
Matyjjanny Zaguła-Yavorskiej opracowana na podstawie pisma RM-530-14-03/17/2020 z dnia 18
grudnia 2021 roku Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Pana Dr hab. inż. Macieja Motyki prof. P. Rz.

Charakterystyka ogólna i znaczenie problematyki rozprawy

Przedmiotem rozprawy są powłoki stosowane na pokrycia łopatek lotniczych turbin gazowych podlegających zużyciu mechanicznemu, cieplnemu, korozyjnemu i erozyjnemu.

Istotne parametry turbiny gazowej, jakimi są: sprawność cieplna i jednostkowa moc wewnętrzna wzrastają ze wzrostem, konsekwentnie podwyższanej w ostatnich kilku dziesięcioleciach temperatury czynnika roboczego na wlocie turbiny. Wymaga to stosowania na elementy gorące turbin nadstopów o coraz lepszych właściwościach mechanicznych w wysokich temperaturach a po osiągnięciu warunków pracy turbiny, w których główną barierą stosowalności stopu okazała się korozja wysokotemperaturowa - dodatkowo zastosowania wydajnych sposobów chłodzenia oraz powłok ochronnych.

Współcześnie w celu zapewnienia możliwie największej trwałości łopatek turbiny pracujących w ekstremalnych warunkach wykonuje się je z zaawansowanych żarowytrzymałych i żaroodpornych nadstopów a na ich powierzchni wytwarzane są powłoki o dużej odporności cieplnej, korozyjnej i erozyjnej. Możliwość wyboru powłoki jest obecnie znaczna a wyniku systematycznie prowadzonych prac badawczych nadal rozszerzana.

Odporność korozyjną w środowisku spalin i wysokiej temperatury spalin łopatek turbin gazowych zapewnić mogą takie zabiegi obróbki cieplnochemicznej jak aluminiowanie i chromo-aluminiowanie.

Jako pokrycia przeciwerozyjne znalazły w tym obszarze powłoki tlenku aluminium, azotku tytanu i tlenku cyrkonu lub powłoki wielowarstwowe.

Ważnym krokiem rozwoju ochrony łopatek turbin gazowych, komór spalania i dysz wylotowych silników lotniczych stanowi zastosowanie powłok pełniących rolę barier cieplnych TBC (Thermal Barrier Coatings).

Aktualny rozwój powłok barierowych związany jest z zastosowaniem nowych zaawansowanych ceramiek tlenkowych jak: tlenek cyrkonu modyfikowany tlenkiem itru, powłok FGM (Functionally Graded Materials), DCL (Double Ceramic Layer) oraz TGO (Thermally Grown Oxides).

Liczne powłoki o dużej odporności cieplnej, korozyjnej i erozyjnej powiększające trwałość elementów gorących turbin, w zależności od ich składu chemicznego i struktury mogą być wytwarzane różnorodnymi metodami obróbki cieplnochemicznej, osadzania fizycznego z fazy gazowej oraz spawalniczymi.

Techniki spawalnicze, takie jak napawanie i natryskiwanie cieplne wyróżniają się wśród innych sposobów wytwarzania powłok żaroodpornych łatwością pokrywania powierzchni o różnych kształtach i wymiarach oraz wszechstronnością możliwości doboru materiału, metody i parametrów wytwarzania powłoki w celu optymalnego kształtowania jej składu chemicznego, cech geometrycznych, struktury i właściwości.

Sz szczególnie efektywne w obszarze wytwarzania powłok żaroodpornych są techniki natryskiwania plazmowego, naddźwiękowego i detonacyjnego a perspektywną jest metoda napawania laserowego umożliwiającą pokrywanie elementów o różnych rozmiarach, zapewniającą: wysoką jakość i drobnoziarnistość napoi, łatwość napawania stopów metali ceramiką i kompozytami metalowo-ceramicznymi, dużą dokładność sterowania wielkością wtopienia i objętością względną składników materiału rodzimego w napoinie, możliwość wytwarzania warstw o szerokim zakresie grubości - od 0,1 do kilku mm, wąską strefę wpływu ciepła oraz małe naprężenia i odkształcenia cieplne.

Procesy zużycia mechanicznego elementów turbin gazowych nie ograniczają się tylko do powierzchni roboczej pióra łopatki, ale również obejmują strefę styku półek łopatek i pierścienia zewnętrznego stanowiące uszczelnienie, gdzie są efektem przemieszczeń podczas rozruchu i hamowania silnika.

Ze względu na złożone warunki pracy tych węzłów trybologicznych, obciążenia mechaniczne, wysoką temperaturę i obecność procesów tarcia intensyfikujących ich zużycie korzystne jest zastosowanie w nich żaroodpornych powłok cechujących się również wysoką odpornością na ścieranie. Wymagania te mogą spełnić liczne materiały używane na powłoki napawane, w tym stopy na osnowie kobaltu typu Stellite i Tribaloy, stopy Co-Mo-Si i Ni-Cr-B-Si umacniane wydzieleniem węglików, borków i faz międzymetalicznych Co-M i Ni-M o twardości przekraczającej 50 HRC. Dalszy wzrost odporności na zużycie ściernie może być osiągnięty w efekcie zbrojenia stopów kobaltu i niklu węglnikami lub borkami wprowadzonymi pośrednio do powłoki podczas procesu napawania.

W swych rozważaniach mgr inż. Andrzej Gradzik koncentruje się na badaniach możliwości kształtowania warstwy wierzchniej nadstopu niklu Inconel 738LC w wyniku wytworzenia na powierzchni metodą napawania laserowego kompozytowych powłok znacznej twardości na osnowie stopu kobaltu Stellite 694 oraz nadstopu Ni-1278 zbrojonych cząstkami węglik wolframu WC i W₂C potencjalnymi do zastosowania w budowie łopatek i elementów aparatów kierujących turbin stacjonarnych i lotniczych.

Wyniki wcześniej publikowanych prac badawczych w wymienionym obszarze są niepełne w odniesieniu do analizy wpływu warunków napawania laserowego na mikrostrukturę i właściwości powłok, szczególnie w przypadku zbrojenia ich cząstkami węglików wolframu. Tematyka ta znajduje się w obszarze zainteresowań zespołu badawczego Katedry Nauki o Materiałach i Uczelnianego Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej, co zapewne zainspirowało Autora rozprawy do realizacji własnych badań w tym obszarze.

Problematyka wpływu warunków napawania laserowego na mikrostrukturę i właściwości powłok szczególnie w przypadku zbrojenia ich cząstkami węglików powinna być przedmiotem dalszych prac o charakterze poznawczym i rozwojowym w zakresie wytwarzania, właściwości i zastosowań. Dobrze też charakteryzuje złożoność zagadnienia w obszarze modyfikacji warstwy wierzchniej elementów lotniczych turbin gazowych a stosowny dobór warunków i parametrów napawania laserowego materiałów żaroodpornych o wysokiej twardości jest nadal aktualna i atrakcyjna dla dalszych rozważań.

Znajdujące się w obszarze zainteresowań inżynierii materiałowej problemy doskonalenia metod wpływu optymalnego projektowania technologii oraz sterowania podstawowymi zjawiskami podczas procesu na kształtowanie mikrostruktury i właściwości elementów konstrukcyjnych są atrakcyjne od strony badawczej i w tym aspekcie wymieniona problematyka trafnie została obrana, jako przedmiot pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Gradzika.

Ocena rozprawy

W swych rozważaniach Doktorant koncentruje się na problematyce wpływu składu chemicznego materiału rodzimego i dodatkowego oraz warunków napawania laserowego na geometrię ściegu, mikrostrukturę, skład fazowy i właściwości napoiiny.

Rozprawa doktorska mgra inż. Andrzeja Gradzika pt. „Kształtowanie mikrostruktury i właściwości użytkowych warstw ochronnych WC-Co-Cr-W i WC-Ni-Cr-Co-Ta-Al na podłożu nadstopu Inconel 738LC wytworzonych wiązką promieniowania laserowego” obejmuje 7 rozdziałów, wykaz literatury, załącznik z kompletem równań wiążących zmienne niezależne i zależne procesu napawania oraz streszczeń a jej objętość wynosi 136 stron ze 150 rysunkami i 21 tabelami.

Wykaz cytowanej literatury obejmuje 148 pozycji, z których w czterech Doktorant jest współautorem. Obszerny przegląd literatury jest wyczerpujący a cytowane materiały źródłowe dotyczą problematyki rozprawy i pochodzą w znacznej części z ostatnich piętnastu lat.

W pierwszej części rozprawy, w Rozdziałach 1 i 2 dotyczących stanu literatury Autor, na podstawie studiów literaturowych i własnych doświadczeń definiuje genezę rozprawy a następnie prezentuje charakterystykę zużycia elementów w części gorącej silników lotniczych, opis nadstopów niklu stosowanych do wytwarzania części turbin gazowych oraz warstw ochronnych stosowanych na ich powierzchni. Odnosi się również do problemów spawalności nadstopów niklu, możliwości operacyjnych napawania laserowego oraz fizykochemicznej i metalurgicznej istoty procesu.

Stwierdzone w Rozdziale 3 pt. „Podsumowanie stanu zagadnienia – teza i cel pracy” sformułowania i konkluzje, wynikające z przeprowadzonej, na podstawie przeglądu aktualnego stanu piśmiennictwa analizy stanu zagadnienia stanowią umotywowanie rozpoznanej luki wiedzy w obszarze wyników badań a także problemów nierozwiązanych dotyczących podstaw napawania laserowego powłok na osnowie stopów Stellite 694 oraz Ni-1278 zbrojonych cząstkami węglików WC i W₂C jak również motyw podjęcia badań nad zweryfikowaniem wysuniętej tezy naukowej dotyczącej możliwości:

- zwiększenia twardości i odporności na zużycie ściernie powłoki wytwarzanej na podłożu nadstopu Inconel 738LC za pomocą wiązki promieniowania laserowego z mieszanin proszków Co-Cr-W-Ni-C i Ni-Cr-Co-Ta-Al w wyniku wprowadzenia do niej mieszaniny cząstek proszków węglików WC i W₂C,
- kształtowania rozmiarów ściegu, składu fazowego, morfologii faz, mikrostruktury i właściwości użytkowych napoiny w wyniku kontroli mocy, średnicy wiązki lasera, prędkości napawania i natężenia przepływu proszku w procesie napawania laserowego.

Jako cel pracy doktorskiej mgr inż. Andrzej Gradzik przyjął opracowanie warunków procesu napawania laserowego powłok Ni-Cr-Co-Ta-Al-WC-W₂C (Ni 1278-WC-W₂C) i Co-Cr-W-Ni-C-WC-W₂C (Stellite 694-WC-W₂C) na podłożu polikrystalicznego nadstopu niklu 738LC.

Zaprezentowany w Rozdziale 4 pt. „Badania własne” zakres eksperymentu obejmował:

- dobór materiałów podłoża, którym był nadstop Inconel 738LC i materiałów dodatkowych: proszków nadstopów Ni-1278 i Stellite 694 oraz węglików WC i W₂C wraz z określeniem ich morfologii i mikrostruktury,
- opracowanie warunków i realizacja procesu napawania laserowego powłok: Co-Cr-W-Ni-C, Ni-Cr-Co-Ta-Al, Co-Cr-W-Ni-C-WC-W₂C, Ni-Cr-Co-Ta-Al-WC-W₂C,
- określenie wpływu mocy i średnicy wiązki promieniowania laserowego, prędkości napawania i natężenia przepływu proszku na geometrię ściegu w oparciu o statystyczny zdeterminowany, czteropoziomowy kompletny plan eksperymentu,
- szczegółową charakterystyką powłok.

Na wytworzonych powłokach Doktorant przeprowadził liczne badania: jakości, mikrostruktury i właściwości mechanicznych metodami: penetracyjną, mikroskopii świetlnej i skaningowej, planimetryczną, dyfrakcji rentgenowskiej, dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD, spektrometrii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego EDS, pomiarów twardości HV i odporności na zużycie metodą ball on disc.

W Rozdziałach 5 – 7 zostały przedstawione wyniki badań własnych, ich analiza oraz wnioski. W rozdziale tym została zaprezentowana obszerna ocena wpływu warunków i parametrów napawania laserowego na mikrostrukturę i właściwości użytkowe powłok Co-Cr-W-Ni-C, Ni-Cr-Co-Ta-Al, Co-Cr-W-Ni-C-WC-W₂C, Ni-Cr-Co-Ta-Al-WC-W₂C na podłożu nadstopu Inconel 738LC.

Na podstawie analizy wpływu warunków procesu napawania laserowego na geometrię ściegu Doktorant opracował, z zastosowaniem wielokrotnej regresji czterdzieści jeden równań umożliwiających prognozowanie jego wymiarów: szerokości, wysokości i głębokości wtopienia oraz pola przekroju poprzecznego ściegu, współczynnika kształtu napoiny i objętości względnej materiału podłoża w napoynie dla zadanej mocy wiązki lasera, prędkości napawania i natężenia przepływu mieszaniny proszków materiałów dodatkowych.

Równania te przedstawiono w formie analitycznej i graficznej dla pięciu składów materiału dodatkowego: Ni-1278, Stellite 694, Ni-1278-30(WC + W₂C), Stellite 694-30(WC + W₂C), Ni-1278-50(WC + W₂C), Stellite 694-50(WC + W₂C). Zachowują one istotność dla szerokiego zakresu wymiarów ściegu: szerokości 0,3÷3 mm, wysokości 0,5÷1,5 mm i głębokości wtopienia 0,05÷0,5 mm oraz parametrów napawania: gęstości mocy – 20,5÷50,5 kW/cm², szybkości napawania – 3,33÷16,67 mm/s i natężenia przepływu proszku – 61-175 mg/s.

W wyniku badań mikrostrukturalnych Doktorant dokonał gruntownego opisu struktury powłok oraz dowiódł, że wytworzona na osnowie nadstopu Ni-1278 powłoka Ni-1278-30(WC + W₂C) składa się z roztworu stałego γ składników stopowych w Ni i węglików MC, M₂C, M₆C, oraz (WC+W₂C) a powłoka Stellite 694-50(WC + W₂C) - z roztworu stałego α składników stopowych w Co i węglików MC, M₂C, M₆C, oraz (WC+W₂C), których ilością i morfologią można sterować przez zmianę składu chemicznego mieszaniny proszków stopu materiału dodatkowego i cząstek węglików WC + W₂C.

Wykazał również, że objętość względna węglików WC+W₂C wytworzonych powłokach jest znacząco mniejsza od ich zawartości w mieszaninie proszków, co jest efektem ich częściowego rozpadu w jeziorku spawalniczym. Powoduje to lokalne zwiększenie zawartości węgla i wolframu w jeziorku. I w czasie krystalizacji powłoki stanowi przyczynę tworzenia się węglików o dużej zawartości W, Cr i Co m.in. M₂C-(W, Cr, Co)₂C, M₆C zidentyfikowanych metodą dyfrakcji rentgenowskiej jako Co₃W₃C, Co₂W₄C a w przypadku małego wymieszania metalu podłoża i materiału dodatkowego również jako węgliki MC-(Ti,Ta)C.

W wyniku badań wybranych właściwości powłok Doktorant stwierdził, że wprowadzenie cząstek WC + W₂C do stopów Ni-1278 i Stellite 69 powiększa znacząco twardość i odporność na zużycie ścierne powłok w porównaniu z twardością i odpornością na zużycie ścierne materiału podłoża – nadstopu Inconel 738LC.

Twardość powłok jest największa dla maksymalnej objętości względnej węglików i wynosi 700 HV dla powłoki Ni-1278-50(WC + W₂C) oraz 1100 HV dla powłoki Stellite 694-50(WC + W₂C).

Odporność na zużycie ścierne powłok jest również największa dla maksymalnej objętości względnej węglików będąc wielokrotnie większą od odporności na zużycie ścierne materiału podłoża nadstopu Inconel 738LC.

Doktorant odniósł się również do szeregu problemów natury technologicznej realizacji procesu napawania laserowego powłok stanowiących przedmiot badań, co zracjonalizuje w przyszłości projektowanie optymalnych parametrów napawania powłok..

Jako najważniejsze osiągnięcie Doktoranta w rozprawie należy uznać opracowanie metodyki i właściwa realizacja bardzo obszernego planu eksperymentu obejmującego ponad półtora tysiąca prób napawania laserowego analizowanych powłok i w efekcie opracowanie ogółu modeli numerycznych definiujących zależność licznych parametrów geometrycznych pojedynczego ściegu napoiny od warunków napawania.

Ze względu na metodologię i szczegółowe studia przeprowadzone w obszarze analizy materiałów żaroodpornych rozprawa doktorska mgra inż. Andrzeja Gradzika pt. „Kształtowanie mikrostruktury i właściwości użytkowych warstw ochronnych WC-Co-Cr-W i WC-Ni-Cr-Co-Ta-Al” stanowi oryginalne i wielowątkowe opracowanie mieszczące się w obszarze dyscypliny naukowej Inżynieria materiałowa.

Strona formalna i merytoryczna opiniowanej pracy doktorskiej zasługuje na pozytywną ocenę. Kompozycja rozprawy jest przejrzysta a podział na rozdziały - logiczny. Opracowane rysunki i tabele prezentują wysoką jakość merytoryczną i edytorską oraz stanowią wartościowe uzupełnienie przedstawionych wyników.

Poprawny język, staranna szata edytorska i atrakcyjna, chociaż trudna badawczo problematyka, jak również interesujące i oryginalne podejście do tematu świadczą o staranności Doktoranta i Jego znajomości nauki o materiałach oraz spawalnictwa.

Podejście metodyczne zaprezentowane przez Autora opiniowanej pracy doktorskiej stwarza perspektywę realizacji uzyskanych wyników o znaczeniu inżynierskim a wyniki rozprawy zachęcają do dalszych badań.

W związku ze sposobem przeprowadzenia badań i przedstawienia części wyników, nasuwają się pytania lub uwagi dotyczące niektórych jej fragmentów, np.

1. W obszarze koncepcji rozprawy:

Jako punkt odniesienia koncepcji rozprawy Doktorant przyjmuje charakterystykę nadstopów niklu użytecznych do wytwarzania elementów turbin gazowych oraz opis warstw ochronnych stosowanych na powierzchni tych elementów, jak również analizę problematyki napawania laserowego i zagadnień związanych ze spawalnością stopów stanowiących przedmiot rozprawy. Mniej szczegółowo odnosi się do warunków i mechanizmów zużycia ściernego obszaru styku zamka łopatki z dyskiem oraz styku półek uszczelnienia pierścienia zewnętrznego mającymi kluczowe znaczenie dla doboru powłoki. Dogłębna analiza tych zagadnień mogłaby stanowić podstawę zdefiniowania szczegółowych kryteriów akceptacji właściwości materiałów stosowanych na powłoki i metod oceny powłok wytworzonych w wyniku eksperymentu.

2. W obszarze koncepcji, wykonania i wyniku eksperymentu:

- czy wybór mieszaniny proszków węglików WC + W₂C, jako komponentu powłok jest optymalny, skoro doniesienia literaturowe sugerują możliwość ich rozkładu podczas napawania laserowego? Wybór ten, jak również dobór kształtu i wielkości cząstek proszku wydaje się niewystarczająco uzasadniony.

- czy wyniki obszernych badań struktury powłok nie mogłyby posłużyć bardziej wnikliwej analizie mechanizmów dekompozycji węglików w jezioru spawalniczym i dystrybucji tworzącego się w jej wyniku węgla?
- Czy, wobec koncentracji naprężeń w miejscu styku, warunki tarcia występujące w metodzie ball on disc podczas badań odporności na zużycie ściernie powłok wystarczająco dobrze symulują warunki pracy węzłów trybologicznych turbiny, czy nie bardziej odpowiednie byłoby zastosowanie metody pin on disc - możliwej do realizacji na tym samym trybometrze T-01M, która zapewniłaby styk jest powierzchniowy?
- czy zastosowanie kulki wykonanej z dużej twardości węgla wolframu, jako przeciw-próbki dobrze odwzorowuje warunki tarcia w węzłach trybologicznych turbiny, skoro w powłoce znajdują się znacznych rozmiarów i twardości cząstki wielościennych proszków WC + W₂C? W rzeczywistych warunkach pracy mogą one skrawać współpracującą powierzchnię o mniejszej twardości. Zastosowany w badaniach układ trybologicznych umożliwia, zatem porównanie zużycia wytworzonych powłok w zadanych warunkach, nie dostarcza jednakże informacji o charakterze zużycia powierzchni współpracującej.

3. W obszarze redakcji rozprawy:

- drobne i nieliczne nieścisłości terminologiczne, szczególnie z obszaru inżynierii spawalnictwa zaznaczyłem w manuskrypcie, który planuję przekazać Autorowi konstatując, że nie zmieniają istoty prezentowanych poglądów i interpretacji zjawisk.

Przytoczone wyżej uwagi traktuję raczej, jako dyskusję z Doktorantem lub sugestię odnośnie problemów do uwzględnienia w publikacjach i dalszych badaniach. Nie zmieniają natomiast one mojej pozytywnej oceny całości rozprawy, którą podsumowuję we wniosku końcowym.

Wniosek końcowy

Na podstawie dokonanej oceny pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Gradzika na pt. „Kształtowanie mikrostruktury i właściwości użytkowych warstw ochronnych WC-Co-Cr-W i WC-Ni-Cr-Co-Ta-Al na podłożu nadstopu Inconel 738LC wytworzonych wiązką promieniowania laserowego” stwierdzam, że założony cel badań został zrealizowany i teza naukowa rozprawy została udowodniona a wyniki eksperymentów stanowią wartościowy materiał źródłowy do wykorzystania praktycznego.

Konkludując niniejszą opinię uważam, że Rozprawa doktorska mgra inż. Andrzeja Gradzika pt. „Kształtowanie mikrostruktury i właściwości użytkowych warstw ochronnych WC-Co-Cr-W i WC-Ni-Cr-Co-Ta-Al na podłożu nadstopu Inconel 738LC wytworzonych wiązką promieniowania laserowego”, wykonana pod opieką promotorską Pana Prof. dr hab. inż. Jana Sieniawskiego i promotora pomocniczego Pani dr hab. inż. Matyjanny Zaguła-Yavorskiej stanowi szczegółowe i wartościowe opracowanie naukowe odnoszące się do rozwojowej metody kształtowania warstwy wierzchniej nadstopu na osnowie niklu Inconel 738LC w wyniku wytworzenia na niej metodą napawania laserowego kompozytowych żaroodpornych powłok o dużej twardości na osnowie stopu kobaltu Stellite 694 zbrojonej cząstkami węgla

wolframu WC i W₂C przeznaczonych do zastosowania w budowie łopatek i elementów aparatów kierujących turbin stacjonarnych oraz lotniczych.

Sposobem realizacji badań Doktorant wykazał, że:

- jest dobrze zorientowany w poruszanej w literaturze problematyce dotyczącej tematyki rozprawy,
- pozyskał umiejętności stawiania hipotez i problemów badawczych, prowadzenia samodzielnej pracy badawczej, w tym właściwego doboru szerokiego zestawu metod koniecznych do realizacji celów pracy oraz ich pełnego opanowania praktycznego,
- osiągnął wartościowe i oryginalne wyniki badań o istotnym znaczeniu poznawczym i walorach aplikacyjnych na interdyscyplinarnym styku Inżynierii materiałowej oraz inżynierii spawalnictwa,
- opanował umiejętności interpretacji wyników wykonanych badań oraz prezentowania osiągniętych wyników eksperymentu,

Za przyczyną powyższego stwierdzam, że dotycząca metodyki eksperymentu i technologii w obszarze modyfikacji właściwości warstwy wierzchniej opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w ustawie z dnia 21 kwietnia 2017 r. o zmianie ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. poz. 859) oraz zasadach i wytycznych szczegółowych.

Z przekonaniem, że opiniowana rozprawa zasługuje na wyróżnienie i wobec jej wymienionych wyżej walorów zwracam się z wnioskiem do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Gradzika do publicznej obrony.

Jerzy Nowacki