

Gliwice, 19 luty 2021 r.

dr hab. inż. Aleksander Lisiecki, prof. PŚ

Katedra Spawalnictwa

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej

Pana mgra 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 promotora

Pana prof. dr hab. inż. Jana Sieniawskiego

i promotora pomocniczego

Pani dr hab. inż. Maryany Zaguła-Yavorskiej,

opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej

Politechniki Rzeszowskiej z dnia 18 grudnia 2020 roku

Autor niniejszej rozprawy podjął próbę kształtowania mikrostruktury i właściwości użytkowych warstw napawanych laserowo na podłożu nadstopu niklu (Inconel 738LC) z zastosowaniem proszków nadstopu kobaltu (Stellite 694) oraz nadstopu niklu (NI-1278), jak i proszków eksperymentalnych z różną zawartością węglików wolframu (WC+W₂C). Motywacją do podjęcia badań było opracowanie podstaw technologii wytwarzania warstw ochronnych o zwiększonej trwałości przeznaczonych do zastosowania w technice lotniczej, w szczególności na powierzchniach półek wieńca łopatek turbiny silników lotniczych.

Technologie laserowej obróbki materiałów, w szczególności napawania laserowego oraz inne metody wytwarzania przyrostowego elementów metalowych za pomocą wiązki laserowej, znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach i obszarach przemysłu. Powodem takiego stanu rzeczy jest ciągły i dynamiczny rozwój urządzeń oraz technologii laserowych, które z uwagi na szczególne właściwości wiązki laserowej umożliwiają precyzyjne nagrzewanie, topienie i odparowanie niewielkiej objętości materiału nawet w mikroobszarach.

W związku z tym technologie laserowe pozwalają na obróbkę lub wytwarzanie elementów o złożonych kształtach, z materiałów trudnoobrabialnych, czy o ograniczonej spawalności przy zastosowaniu konwencjonalnych spawalniczych źródeł ciepła.

Pomimo, iż w wielu ośrodkach naukowych i badawczych w kraju oraz za granicą prowadzone są badania w zakresie wytwarzania warstw ochronnych o podwyższonych właściwościach użytkowych, w tym warstw kompozytowych o osnowie metalicznej (z ang. MMC – Metal Matrix Composite), to niewiele jest doniesień literaturowych dotyczących szczegółowej analizy i badań procesu napawania laserowego proszkiem na bazie stopu kobaltu Stellite 694 podłoża nadstopu Inconel 738LC, z którego wytwarzane są łopatki i aparaty kierujące turbin stacjonarnych oraz silników lotniczych.

Podjęta przez Doktoranta tematyka jest zatem oryginalna i wpisuje się w aktualne kierunki badań naukowych w dyscyplinie inżyniera materiałowa, jak również rzeczywiste potrzeby przemysłu lotniczego związane z ciągłym dążeniem do poprawy sprawności, trwałości i niezawodności silników turbinowych.

Ocena formalna pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska posiada układ typowy dla prac o charakterze eksperymentalnym i jest podzielona na dwie zasadnicze części: studium literatury oraz część badawczą. Praca zawiera 136 stron numerowanych, w tym streszczenie w języku polskim i angielskim, 150 rysunków i 21 tablic. Praca składa się ze spisu treści, wprowadzenia, studium literatury (9 rozdziałów i 3 podrozdziały), podsumowania stanu zagadnienia oraz tezy i celu pracy, badań własnych (3 rozdziały i 3 podrozdziały), wyników badań własnych (6 rozdziałów), analizy wyników badań (3 rozdziały), wniosków, spisu literatury oraz załącznika. Spis literatury obejmuje 148 pozycji, przy czym Doktorant jest współautorem 4 z nich. W załączniku przedstawiono oznaczenia oraz opracowane modele matematyczne do prognozowania wpływu warunków technologicznych procesu napawania laserowego na rozmiary pojedynczej ścieżki dla różnych proszków eksperymentalnych. Jako drobne błędy edycyjne można wskazać brak pozycji „Streszczenie” i „Summary” w spisie treści, jak również brak konsekwencji w numeracji rozdziału „Wprowadzenie”, który jest numerowany wyłącznie w spisie treści.

Praca jest napisana poprawnie, starannie i spełnia wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim.

Ocena merytoryczna pracy

Tytuł Pracy doktorskiej: „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” jest adekwatny do zdefiniowanego celu i zakresu badań.

Rozprawa rozpoczyna się dwustronicowym wprowadzaniem, w którym Autor opisuje wagę podejmowanego zagadnienia badawczego odnosząc się do stanu techniki oraz uzasadnia zakres prowadzonych badań. Na kolejnych 24 stronach przedstawione jest studium literatury. W tej części pracy Autor charakteryzuje nadstopy niklu stosowane do wytwarzania elementów turbiny gazowej, opisuje mechanizmy zużycia łopatek silników lotniczych, charakteryzuje warstwy ochronne stosowane na powierzchniach łopatek turbin, omawia zagadnienia dotyczące spawalności odlewniczych nadstopów niklu. Znaczna część studium literatury jest poświęcona charakterystyce procesu przetapiania i napawania laserowego (łącznie 15 stron). Autor omawia dość szczegółowo wpływ warunków oraz parametrów technologicznych na przebieg procesu napawania i charakterystykę warstw napawanych. Dokonuje też charakterystyki zjawisk fizycznych w procesie napawania laserowego oraz omawia mechanizmy krystalizacji typowe dla napawania laserowego oraz wpływ warunków krystalizacji jeziorka metalu na mikrostrukturę warstw napawanych.

Stwierdzam, że wybór opisanych zagadnień i zakres studium literatury jest adekwatny do tematu pracy, przedmiotu i zakresu badań oraz głównego celu pracy sformułowanego przez Autora.

W tej części rozprawy Autor nie ustrzegł się jednak drobnych błędów edycyjnych oraz interpunkcyjnych, jak również kilku nieścisłości, do których można zaliczyć:

- Błędy interpunkcyjne (str. 6 - akapit nr 3, w podpisie rysunku nr 1, str. 18 – akapit 4, str. 23 – akapit 3).
- Niejednakowe odległości między wyrazami, czyli szerokości tzw. spacji, podwójny odstęp między wyrazami lub odmienny sposób wyrównania tekstu (rysunek nr 2, tablica nr 1, str. 8 - akapit 1 i 2, str. 9 - akapit 2, str. 11 - akapit 3, str. 12 - akapit 1 i 3, str. 13 – akapit 2 i 3, str. 16 – akapit 3, str. 24 – akapit 3).
- Zakres wartości natężenia przepływu 12-15 dm³/min (str. 13) powinien być przedstawiony następująco: 12÷15 dm³/min.

- Stwierdzenie „Ustalono, że podczas procesu spawania lub napawania jeziorko ciekłego metalu przemieszcza się zgodnie z kierunkiem przemieszczania źródła ciepła.” (str. 14) nie jest odkrywcze.

- Błąd w zdaniu (str. 14): „... krystalizacja jeziorka ciekłego metali powoduje...”, powinno być „jeziorka ciekłego metalu”.

- Opisując proces napawania dwuetapowego Autor wskazuje, że lepiszczem proszku jest zwykle woda, klej lub alkohol (str. 16). Zdaniem recenzenta stosowanie wody w przypadku napawania laserowego jest co najmniej nietypowe. W tekście brak też odnośnika do pozycji literatury, z której takie informacje zostały zaczerpnięte. ***Stąd też prośba recenzenta o wskazanie źródła takich informacji i wyjaśnienie jakie materiały oraz w jakich warunkach aplikuje się przy napawaniu laserowym z zastosowaniem wody jako lepiszcza oraz jakiego kleju?***

- Błąd na rysunku 4c, gdzie gaz transportujący proszek (nazywany też gazem nośnym w dalszej części pracy) jest błędnie oznaczony na rysunku jako gaz osłonowy.

- Na stronie nr 17 Autor wskazuje na związek pomiędzy tym, że drut lub taśma podczas napawania laserowego jest wprowadzana do obszaru napawania pod kątem od 20 do 60°, co powoduje, że technika taka jest stosowana najczęściej do napawania powierzchni o prostym kształcie. ***Zdaniem recenzenta stwierdzenie takie wymaga szerszego wyjaśnienia. Co Autor rozumie pod pojęciem „powierzchnia o prostym kształcie” oraz dlaczego wskazany zakres kątów powoduje ograniczenia przy napawaniu powierzchni o innych kształtach?***

- Również na stronie nr 17 znajduje się zdanie: „Wydajność procesu napawania jednoetapowego jest mniejsza w porównaniu do procesu dwuetapowego.”, z którym recenzent nie może się zgodzić. Dalsza część tekstu wskazuje, że Autor błędnie użył terminu „wydajność”, podczas gdy opisywał „uzysk” proszku jako materiału dodatkowego w procesach napawania jedno i dwuetapowego. Termin ten jest stosowany również w pozostałej części rozprawy. ***Stąd prośba o wyjaśnienie na czym polega różnica w wydajności procesu napawania oraz uzysku proszku podczas napawania?***

- Na stronie nr 19 znajduje się ogólne stwierdzenie (z odnośnikiem do rys. 5), że lasery dyskowe charakteryzują się gaussowskim rozkładem energii na przekroju poprzecznym wiązki laserowej, a z kolei lasery światłowodowe oraz gazowe CO₂, rozkładem równomiernym. Recenzent nie może zgodzić się z powyższym stwierdzeniem, ponieważ wszystkie ze wskazanych laserów mogą generować wiązki zarówno jedno, jak i wielomodowe, w zależności od mocy lasera i parametrów układu optycznego.

- Na rysunku nr 6 (str. 21) błędnie przedstawiono obszar parametrów obróbki wspólny dla spawania i cięcia laserowego, podczas gdy w rzeczywistości obszary te posiadają jedynie część wspólną (częściowo nachodzą na siebie zależnie od techniki spawania laserowego).
- W zdaniu (str. 22): „Największą wydajność uzyskuje się przy zastosowaniu wiązki o średnicy niewiele większej od średnicy strumienia proszku.”, Autor miał na myśli zapewne „uzysk proszku”.
- Błąd w zdaniu (str. 28): „...krystalizacji w jeziorcu ciekłego zależy...”, powinno być „jeziorcu ciekłego metalu”.

W kolejnym rozdziale (str. 30÷32) „Podsumowanie stanu zagadnienia – teza i cel pracy” Autor podsumowuje analizowane doniesienia literaturowe oraz uzasadnia celowość podjętych badań. Formułuje też tezę rozprawy, w której można wyróżnić dwie zasadnicze części. Pierwsza dotyczy możliwości zwiększenia twardości i odporności na zużycie w warunkach tarcia poprzez wprowadzenie węglików (WC+W₂C) do proszków Stellite 694 oraz Ni-1278 przy napawaniu laserowym podłoża z nadstopu Inconel 738LC. Druga część dotyczy możliwości kształtowania właściwości użytkowych, składu fazowego, mikrostruktury i kształtu pojedynczej ścieżki napoiny poprzez kontrolę energii cieplnej napawania laserowego.

Z kolei zasadniczym celem pracy zdefiniowanym przez Autora było opracowanie warunków technologicznych wytwarzania warstw ochronnych na podłożu nadstopu Inconel 738LC.

Teza pracy jest zasadna i poprawnie sformułowana, a cel adekwatny do zaplanowanych prób technologicznych i badań.

W rozdziale „Badania własne” (str. 33÷47) przedstawiono prosty i czytelny schemat programu badań własnych, określono szczegółowe cele badań oraz zakres prowadzonych badań. Szczegółowo scharakteryzowano materiał podłoża oraz materiały dodatkowe wykorzystane do badań procesu napawania warstw ochronnych. Opisano warunki technologiczne i zakres zmienności parametrów procesu napawania laserowego oraz metodykę badań wytworzonych pojedynczych ścieżek oraz testowych warstw ochronnych. Badania te obejmowały badania nieniszczące za pomocą badań penetracyjnych, badania składu fazowego, badania mikroskopowe, pomiary twardości, badania odporności na zużycie w warunkach tarcia.

W tej części rozprawy można też znaleźć drobne błędy edycyjne, interpunkcyjne oraz pewne nieścisłości, do których można zaliczyć:

- Błędy interpunkcyjne (w podpisie tablicy nr 5, str. 44 – akapit 4, str. 45 – akapit 2, str. 42 - brak kropki po numerze rysunku 27).
- Błąd w zdaniu (str. 35): „...nadstopów niklu stosowanych do wytwarzana łopatek i aparatów kierujących...”, powinno być „do wytwarzania łopatek”.
- Błąd w zdaniu (str. 41 – akapit 1): „...Ustalono, że rozmiary cząstek proszki Ni-1278 wynoszą od 46 do 110 μm (rys. 25). natomiast proszku Stellite 694 od 51 do 96 μm (rys. 26), Rozmiary cząstek węglików...”, powinno być „...110 μm (rys. 25). Natomiast proszku Stellite 694 od 51 do 96 μm (rys. 26). Rozmiary cząstek węglików...”.
- Błąd w zdaniu (str. 41): „...prędkość obrotową 150 obr/min i czas mieszania – 15 min...”, powinno być „...prędkość obrotową 150 obr/min i czas mieszania 15 min...”.
- Błąd w podpisie rysunku 17, w którym dwukrotnie znajduje się wyraz „przesycanie”.
- W opisie przebiegu prób napawania laserowego nie wyjaśniono, z jakiego powodu zastosowano różne gazy do osłony i do transportu proszku. ***Stąd też prośba recenzenta o wyjaśnienie, dlaczego jako gaz nośny zastosowano hel, podczas gdy gazem osłonowym był argon?***
- W równaniu nr 6 (str. 43) zastosowanym do określenia liczby doświadczeń „M·N” występuje nieścisłość, ponieważ w opisie do równania podano, że „N – liczba doświadczeń”. ***Skoro liczba doświadczeń to iloczyn składników „M” oraz „N”, to jak zdefiniowano składnik równania „N”? Ponadto według obliczeń zgodnie z powyższym równaniem uzyskano liczbę 1536. Czy zatem Doktorant wykonał tak dużą liczbę prób technologicznych napawania laserowego, czy dodatkowo zoptymalizował zakres badań i ograniczył liczbę prób technologicznych?***

Najbardziej obszerną część pracy (str. 48÷111) stanowi rozdział „Wyniki badań własnych”, który zawiera nie tylko uzyskane wyniki, ale Autor dokonuje w nim również wstępnego omówienia i częściowej analizy tych wyników. Na uwagę zasługuje ogromny zakres prób technologicznych oraz badań wykonanych przez Doktoranta i opisanych w tym rozdziale. W opinii recenzenta, szczególnie cennym elementem badań w zakresie technologii napawania laserowego jest precyzyjne określenie wpływu parametrów procesowych na kształt i wymiary pojedynczej ścieżki napoiny dla wszystkich badanych materiałów dodatkowych oraz opracowanie modeli matematycznych opisujących te zależności. Wyniki badań zostały rzetelnie i poprawnie opracowane oraz przedstawione w sposób przejrzysty.

W tej części rozprawy również można doszukać się drobnych błędów edycyjnych, interpunkcyjnych i pewnych nieściśłości, takich jak:

- Błędy interpunkcyjne (str. 48 – akapit 1, str. 49 – akapit 1, str. 50 – akapit 2, str. 51 – akapit 3, str. 59 – akapit 1 i 3, str. 72 – akapit 1, 2 i 3, str. 73 – akapit 2, str. 86 – akapit 1, str. 87 – akapit 1, str. 90 – akapit 2, str. 98 – akapit 1, str. 99 – akapit 2, str. 102 – akapit 1, str. 103 – akapit 1 i 2, str. 104 – akapit 2, str. 109 – akapit 1, podpis rys. 47).

- Niejednakowe odległości między wyrazami, czyli szerokości tzw. spacji, podwójny odstęp między wyrazami lub odmienny sposób wyrównania tekstu (rysunek nr 38 i 39),

- Zdanie (str. 49): „Jednocześnie ustalono, że kąt α zwiększa się przy wzroście natężenia przepływu proszku i przyjmuje wartość $> 90^\circ$, dla małej objętości przetapianego materiału dodatkowego (natężenie przepływu proszku $m_1 = 60 \text{ mg/s}$).”, jest niejasne, a stwierdzenie zawarte w nim wydaje się sprzeczne. Skoro rośnie natężenie przepływu (podawania) proszku, to objętość materiału rośnie, co potwierdzają ilustracje na rysunkach 33 i 34. **Proszę zatem o wyjaśnienie przytoczonego stwierdzenia.**

- Błąd (niekonsekwencja) w oznaczeniu proszku (str. 67): „Ni+1278+(WC+W₂C)”. W pozostałej części pracy Autor stosuje oznaczenie: „Ni-1278-(WC+W₂C)”.

- Błąd w zdaniu (str. 71): „...w przestrzeniach międzydendrytycznych cechuje występują wydzielenia...”, powinno być „międzydendrytycznych występują”.

- Na stronie nr 80 Autor dokonuje porównania mikrostruktury dwóch warstw ochronnych wykonanych przy różnych parametrach procesowych. **W takim przypadku korzystne jest zastosowanie jednakowego powiększenia na fotografiach obrazujących mikrostrukturę, a na rys. 82 zastosowano różne powiększenia.**

- Na stronie nr 84 Autor pisze, że „Inicjacja tych mikropęknięć następuje na granicy wtopienia warstwy w obszarach granic ziaren materiału podłoża (rys. 91b).”, podczas gdy na kolejnej stronie (str. 85) znajduje się zdanie, które wydaje się sprzeczne w stosunku do poprzedniego: „Stwierdzono, że inicjacja pęknięcia zwykle występuje na powierzchni wytworzonej warstwy (rys. 92). Pęknięcie rozwija się przez całą objętość warstwy do granicy wtopienia z materiałem podłoża”. **Stąd prośba recenzenta o wyjaśnienie lub komentarz do powyższego spostrzeżenia.**

- Z opisu na stronie nr 85 wynika, że Autor zidentyfikował pęknięcia powstające z warstwach ochronnych, jako pęknięcia gorące. Jednocześnie ustalił, że zwiększenie energii liniowej napawania (i/lub zastosowanie podgrzewania wstępnego, co opisano w dalszej części pracy) ogranicza skłonność do powstawania pęknięć w warstwach wytworzonych proszkiem Stellite 694-(WC+W₂C). Ustalenia te nie są zbieżne z ogólnym zaleceniem ograniczania pęknięć gorących w procesach spawania oraz napawania metali i stopów wykazujących skłonność do

pęknięcia gorącego. Zaleca się zazwyczaj ograniczanie energii liniowej procesu i temperatury podgrzewania wstępnego. ***Stąd pytanie: Jak Autor ustalił charakter pęknięć w warstwach ochronnych i jak może wyjaśnić ustalenia związane z energią liniową procesu i skłonnością do pęknięć?***

- W części opisowej na stronie nr 98 znajduje się stwierdzenie: „Wykazano, że wyłącznie warstwa wytworzona tylko z proszku Ni-1278 cechuje się twardością mniejszą od podłoża (ok. 300HV10)”, podczas gdy w tablicy 18 podano twardość dla tej warstwy $270 \pm 5\text{HV}10$.

W oddzielnym rozdziale „Analiza wyników badań”, zajmującym aż 7 stron (str. 112÷119), Autor dokonał szczegółowej analizy uzyskanych wyników badań własnych oraz potwierdził sformułowaną na początku pracy tezę. Dokonał szczegółowej analizy wpływu parametrów procesowych na kształt i wymiary pojedynczej ścieżki napoiny. W celu opracowania modelu matematycznego do prognozowania wpływu zmiennych parametrów procesowych na kształt napoin, Doktorant zastosował metodę regresji wielokrotnej. Określił też, które z warunków technologicznych mają najistotniejszy wpływ na rozmiary napoin i współczynnik kształtu. Przydatność modeli matematycznych potwierdził poprzez porównanie wyników empirycznych z obliczeniami analitycznymi. Precyzyjnie określił wpływ warunków technologicznych i rodzaju materiału dodatkowego na skład chemiczny, fazowy oraz mikrostrukturę wykonanych warstw. Określił też rozkład twardości na powierzchni lica napoin oraz na przekroju poprzecznym warstw. Doktorant zidentyfikował też poprawnie mechanizmy zużycia badanych warstw w wyniku zużycia w warunkach tarcia i opisał szczegółowo zjawiska fizyko-chemiczne towarzyszące tym mechanizmom.

Jako drobne błędy w tej części pracy można wskazać:

- Błędy interpunkcyjne (str. 112 – akapit 1, str. 114 – akapit 1 i 2, podpis w rysunku 149, str. 117 – akapit 1 i 2).
- Niejednakowe odległości między wyrazami, czyli szerokości tzw. spacji (str. 114 – akapit 1, str. 118 – akapit 2),
- Na stronie nr 118 Autor odnosi się do zjawiska niepełnego stopienia materiału dodatkowego w pewnych warunkach procesu napawania, jednak brak jest danych ilościowych dotyczących uzysku proszku w warunkach prowadzonych badań. ***Czy Autor określił uzysk dla stosowanych proszków w warunkach, w jakich prowadzone były próby napawania laserowego? Jeśli tak, to w jakim zakresie mieściły się wartości uzysku proszków?***

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań Doktorant sformułował aż 15 wniosków (str. 120÷122). Wnioski te zostały sformułowane poprawnie i są adekwatne do uzyskanych wyników oraz spostrzeżeń Doktoranta. Informacje zawarte we wnioskach stanowią cenne wskazówki zarówno dla dalszych badań nad technologiami wytwarzania warstw ochronnych, kształtowaniem właściwości i mikrostruktury warstw kompozytowych na osnowie metalicznej nadstopów kobaltu i niklu, jak również mają znaczenie praktyczne, gdyż mogą być wykorzystane do zastosowania w praktyce przemysłowej.

W tej części Autor również nie ustrzegł się drobnych błędów interpunkcyjnych (we wnioski nr 1, 4, 5, 7 oraz 12), które nie mają jednak wpływu na wysoką wartość merytoryczną oraz naukową zawartych treści.

Podsumowanie

Wskazane drobne błędy edycyjne i interpunkcyjne oraz kilka uwag o charakterze dyskusyjnym nie mogą przesłaniać ogromu pracy badawczej i nie umniejszają bardzo wysokiego poziomu merytorycznego pracy doktorskiej Pana mgr inż. Andrzeja Gradzika, która wnosi wartościowy wkład do dyscypliny inżynieria materiałowa. Uzyskane wyniki badań własnych są w pełni oryginalne, cenne pod względem poznawczym, a dodatkowo posiadają potencjał aplikacyjny. Mogą być podstawą do dalszych badań nad opracowaniem technologii wytwarzania warstw ochronnych o zwiększonej trwałości na powierzchniach roboczych elementów z nadstopu niklu Inconel 738LC. Zdaniem recenzenta, jednym z wielu osiągnięć Doktoranta zasługujących na uwagę, jest opracowanie modeli matematycznych, które pozwalają na prognozowanie wpływu warunków technologicznych procesu napawania laserowego na rozmiary pojedynczej ścieżki dla materiałów dodatkowych wykorzystanych w badaniach.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że opiniowana praca doktorska Pana mgra 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” spełnia w pełni wymagania określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14 marca z 2003 r. (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie Pana mgra inż. Andrzeja Gradzika do publicznej obrony.

Doceniając jednocześnie bardzo wysoki poziom zaprezentowanej rozprawy, szeroki zakres i kompleksowość wykonanych prac oraz badań, zarówno w obszarze technologii napawania laserowego, jak i właściwości oraz mikrostruktury wytworzonych warstw, wykorzystanie nowoczesnych metod badawczych, a także aktualność podjętej tematyki i uzyskane wyniki o dużym potencjale aplikacyjnym, wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Rzeszowskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Andrzeja Gradzika.

Opracował:

Aleksander Lisiecki