

Dr hab. inż. Andriy Burbelko, prof. nadzw. AGH

abur@agh.edu.pl

Katedra Inżynierii Stopów i Kompozytów Odlewanych

Wydział Odlewnictwa

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr inż. Jacka Nawrockiego

p.t. „Kształtowanie polikrystalicznej mikrostruktury nadstopu Inconel 713C
w cienkościennych elementach części gorącej silników lotniczych”

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechniki Rzeszowskiej

Kraków, 12 stycznia 2018 r.

Dr hab. inż. Andriy Burbelko, prof. nadzw. AGH
Katedra Inżynierii Stopów i Kompozytów Odlewanych
Wydział Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jacka Nawrockiego
p.t. „Kształtowanie polikrystalicznej mikrostruktury nadstopu Inconel 713C
w cienkościennych elementach części gorącej silników lotniczych”
wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechniki Rzeszowskiej

1. Wybór problemu badawczego podjętego w rozprawie

Przedstawione w rozprawie recenzowanej pracy doktorskiej badania związane są z dążeniem do osiągnięcia celów środowiskowych dla przemysłu lotniczego wyznaczonych przez Europejską Komisję Doradców ds. Badań Lotniczych na lata 2002-2020, a mianowicie – zmniejszenia zużycia paliwa i emisji CO₂, emisji tlenków azotu oraz hałasu. Autor rozprawy na podstawie publikowanych danych ustalił, że silniki samolotów są w dużym stopniu odpowiedzialne za poziom oddziaływania aparatów lotniczych na środowisko, a jednym z kierunków osiągnięcia powyższych celów jest zwiększenie sprawności cieplnej silników.

Do rozwiązania powyższego problemu prowadzi zarówno tradycyjna droga, czyli poprawa żaroodporności i żarowytrzymałości stopów stosowanych do produkcji elementów i podzespołów turbiny silnikowej, jak i lansowana w ostatnim czasie droga stosowania odlewanych elementów silników turbinowych o mniejszych przekrojach, czyli odlewów cienkościennych z nadstopów niklu tradycyjnie stosowanych w silnikach.

Niestety, zmniejszenie grubości ścianek odlewów wymaga wprowadzenia zmian do stosowanych dotychczas procesów technologicznych wytwarzania odlewów polikrystalicznych. Dlatego autor rozprawy podjął się zadania kompleksowej oceny wpływu procesu krystalizacji nadstopu niklu IN 713C na kształtowanie się mikrostruktury odlewów z tego stopu w trakcie krystalizacji w odlewach cienkościennych w formach ceramicznych.

Zgodnie z aktualnymi prognozami korporacji Boeing (grudzień 2017) liczba wąskokadłubowych samolotów, które zostaną wyprodukowane w ciągu najbliższych 20 lat, jest nieco mniejsza, niżeli podana zgodnie z danymi za rok 2014, przedstawionymi w recenzowanej pracy. Tym nie mniej, ogólna liczba samolotów tego typu powinna wynieść 29 tys. 530, czyli 72% wyprodukowanych aparatów lotniczych, co może przynieść producentom 53% wpływów ze sprzedaży. Dla rynku europejskiego liczba ta wynosi 5 900 samolotów (78% dostaw).

Powyższe świadczy o trafności wyboru tematyki badań przez autora rozprawy zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i ze względu na możliwości praktycznego zastosowania wyników badań i opracowań.

2. Struktura rozprawy, teza i cel

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Jacka Nawrockiego p.t. „Kształtowanie polikrystalicznej mikrostruktury nadstopu Inconel 713C w cienkościennych elementach części gorącej silników lotniczych” liczy 102 strony.

Praca ma tradycyjną strukturę. Składa się z części wprowadzającej i analizy aktualnego stanu zagadnienia (rozdział 2. „Studium literatury”). Podsumowując stan zagadnienia, autor w rozdziale 3. definiuje cel pracy. Celem tym jest określenie wpływu szeregu parametrów technologicznych (łącznie z grubością ścianki odlewu) na szybkość zmian temperatury odlewu w procesie technologicznym oraz na kompleksową ocenę wpływu tej szybkości na cechy składników mikrostruktury odlewów z nadstopu niklu IN 713 C. Z celem tym logicznie jest związana teza rozprawy: „Morfologia i objętość względna składników fazowych mikrostruktury nadstopu niklu zależy od prędkości chłodzenia ciekłego metalu. Określenie zależności pomiędzy czynnikami technologicznymi odlewania i morfologią składników mikrostruktury umożliwi prognozowanie odporności na pełzanie polikrystalicznych odlewów cienkościennych z nadstopu niklu Inconel 713C.”

Uważam, że przedstawiona teza jest kompletna i słuszna, bowiem to właśnie skład fazowy oraz skład chemiczny faz wraz z morfologią składników mikrostruktury stopów są odpowiedzialne za właściwości mechaniczne i eksploatacyjne komponentów odlewanych.

Fragment rozdziału 3, zatytułowanego „Podsumowanie stanu zagadnienia – teza, zakres i cel pracy” (akapit 2 na stronie 25), który zakreśla badania własne Autora przedstawione w pracy, należałoby moim zdaniem wykorzystać jako streszczenie rozprawy.

Własne osiągnięcia autor rozprawy przedstawia w dwu kolejnych rozdziałach pt. „Badania własne”, gdzie została opisana dokładnie metodyka badań, oraz „Wyniki i analiza badań własnych”, gdzie szczegółowo przedstawiono i przedyskutowano otrzymane wyniki.

Zakończeniem pracy służy rozdział, zawierający wnioski. Wykaz bibliograficzny literatury jest wystarczająco bogaty, zawiera bowiem 103 poz.

Język rozprawy jest stosunkowo przejrzysty, a poziom edycyjny pracy nie budzi większych zastrzeżeń. Występują nieliczne usterki ortograficzne, stylistyczne i interpunkcyjne.

3. Ocena części przeglądowej

W części przeglądowej pracy Autor charakteryzuje etapy rozwoju i zakres stosowania nadstopów na bazie niklu, kobaltu i żelaza. Następnie opisane zostały mechanizmy umacniania nadstopów, powiązanie typowych dodatków stopowych wprowadzanych do nadstopów z tymi mechanizmami oraz typowa kolejność przemian fazowych podczas krystalizacji i dalszego chłodzenia odlewów.

Autor rozprawy przedstawił istniejącą teorię zarodkowania i wzrostu ziaren fazy stałej podczas krystalizacji stopów metalicznych. Opisano wpływ stężenia roztworu ciekłego i szybkości migracji granicy pomiędzy fazą ciekłą a stałą na morfologię frontu krystalizacji i powstającą mikrostrukturę odlewów wykonywanych z tych stopów.

Podkreślono, że odlewy o mikrostrukturze polikrystalicznej z nadstopów na bazie Ni stosowane są w silnikach lotniczych w turbinach niskiego ciśnienia. Właśnie taki typ odlewów został wybrany jako przedmiot badań w dalszej części rozprawy. Właściwości mechaniczne i eksploatacyjne takich odlewów zależą w dużym stopniu od ich mikrostruktury powstającej podczas krystalizacji, a mianowicie od składu fazowego, udziałów objętościowych ziaren poszczególnych faz, morfologii tych ziaren oraz od wydzielenia fazy umacniającej, które powstają w tych ziarnach już z fazy stałej.

Tworzenie się mikrostruktury nadstopu podczas jego krystalizacji jest uzależnione od warunków krystalizacji, a w pierwszej kolejności od szybkości odprowadzania ciepła z obszaru krystalizującego w całym zakresie temperatury krystalizacji: od temperatury likwidus do temperatury solidus. Autor zwraca uwagę na ograniczoną ilość dostępnej w literaturze informacji na temat wpływu grubości ścianki odlewu, materiału formy i warunków zalewania na kształtowanie się struktury odlewów polikrystalicznych wykonywanych z nadstopów Ni, czym uzasadnił wybór zakresu prowadzonych w pracy badań.

Uważam, że przedstawiona część literaturowa stanowi wystarczającą podstawę teoretyczną do realizacji podjętego tematu. Wykonany przez Doktoranta przegląd literatury pozwala wnioskować o Jego dobrym merytorycznym przygotowaniu do podjęcia problematyki związanej z realizowaną tematyką pracy.

4. Ocena badań własnych Autora

Autor rozprawy w części doświadczalnej opisał szerokie spektrum przeprowadzonych badań.

Niewątpliwie, użytecznym jest zastosowanie techniki oceny szybkości zmian temperatury nadstopu podczas krystalizacji w przypadku małej grubości ścianki odlewu. Wprowadzenie termoelementu z rurką osłonową do badanego układu w przypadku małej grubości ścianki, a szczególnie dla form skorupowych, zmienia warunki pomiaru i nie pozwala na wystarczająco dokładną rejestrację temperatury i wyznaczenie szybkości zmian temperatury. W pracy ocena szybkości chłodzenia dla cienkich przekrojów została wykonana na podstawie pomiarów odległości pomiędzy gałęziami wtórnymi dendrytów fazy pierwotnej. Niestety opis geometrii stosowanych w tym celu próbek pojawia się dopiero w rozdziale 4.3 „Materiał do badań” na str. 46, co bardzo utrudnia odbiór informacji przedstawionej w rozdziale 4.2.5. „Prędkość chłodzenia w odlewach cienkościennych” (str. 37).

Bardzo pozytywnie oceniam zastosowanie symulacji komputerowej krystalizacji dla opracowania takiej geometrii próbki, która pozwoliła na opracowanie geometrii odlewu próbnego bez porowatości skurczowej.

Autor szczegółowo opisuje sposób przygotowania formy odlewniczej do wykonania doświadczalnych próbek walcowych o zmiennej średnicy (schodkowych) oraz proces odlewania próbek doświadczalnych. Opisany został również sposób wykonywania odlewów precyzyjnych próbek do badania odporności na pełzanie oraz odlewów prefabrykatów dla wykonania takich próbek metodą ubytkową. Prócz próbek doświadczalnych do badań przygotowano odlewy łopatek: rdzeniowanej o grubości ścianki pióra 0,92 do 1,48 mm i pełnej o grubości maksymalnej pióra od 4,61 do 5,80 mm.

Autor na podstawie danych literatury wyszczególnił szereg zmiennych parametrów, które mają wpływ na przebieg krystalizacji. Do badań wybrano analizę takich czynników technologicznych jak temperatura stopu w momencie zalewania, temperatura wygrzanej formy oraz obecność dodatkowej izolacji zewnętrznej formy skorupowej.

Do przeprowadzenia badań zastosowano technikę planowania eksperymentu. Badania prowadzono na podstawie statycznego zdeterminowanego kompletnego planu dwupoziomowego bez powtórzenia:

- Temperatura stopu 1450 i 1550°C
- Temperatura formy 1000 i 1230°C
- Izolacja formy: obecna lub nieobecna
- Grubość ścianki odlewu: odlew rdzeniowany i nierdzeniowany

Ze względu na małą liczbę doświadczeń do oceny odchyłki wyników w pracy przyjęto pseudo-odchylenie standardowe według metody proponowanej przez Lenth'a. Analiza statyczna pozwoliła oszacować stopień istotności oddziaływania poszczególnych czynników i ich interakcji na uzyskany wynik. Wyznaczono również równania regresji opisujące zależność parametrów procesu krystalizacji od istotnych statystycznie czynników technologicznych. Wyniki te przedstawiono oddzielnie dla większej grubości ścianki ($d = 10$ i 20 mm) z bezpośrednim pomiarem temperatury oraz dla części cienkościennych ($d = 1, 3$ i 5 mm) z oszacowaniem szybkości chłodzenia na podstawie odległości pomiędzy gałęziami wtórnymi dendrytów.

Dla odlewów próbek na pełzanie wybrane zostały zestawy parametrów technologicznych, które zapewniają maksymalną wytrzymałość stopu Inconel 713C na pełzanie w temperaturze 982°C.

Pokazano, że odlew łopatki rdzeniowanej cechuje się nie tylko drobniejszym ziarnem osnowy metalicznej, lecz też mniejszym udziałem objętościowym porowatości i mniejszymi wymiarami porów.

Uzyskane w pracy wyniki stanowią podstawę do projektowania i prowadzenia procesu wykonywania odlewów cienkościennych ze stopu Inconel 713C w warunkach przemysłowych.

Uważam, że dobór zarówno rodzaju badań, jak i technik badawczych potwierdza dojrzałość naukową Autora rozprawy.

5. Uwagi i pytania

Uwagi terminologiczne

Autor rozprawy niepoprawnie używa pojęcie „prędkość” dla opisu szybkości zmian temperatury lub intensywności chłodzenia. Zgodnie z istniejącą definicją (przytoczoną w „Nowej encyklopedii powszechnej PWN”, PWN, Warszawa, tom 5, 1998, str. 329) „prędkość” jest podstawową, wektorową wielkością fizyczną charakteryzującą ruch (wektory prędkości liniowej i kątowej).

Autor zastosował pojęcie fazy „pierwotnej” do kilku faz powstających podczas krystalizacji bezpośrednio z fazy ciekłej: faza γ (str. 13, 14), węgiel pierwotny MC (rys. 10, str. 15). Jest to sprzeczne z teorią wykresów fazowych dla układów wieloskładnikowych. „Pierwotną” należałoby nazywać wyłącznie tę fazę, której temperatura likwidus w danym stopie jest najwyższa. Zmiany składu chemicznego fazy ciekłej w trakcie krystalizacji z niej fazy pierwotnej umożliwiają rozpoczęcie przemiany z udziałem dwu faz stałych. Może to być np. krystalizacja eutektyczna lub perytektyczna. Niezależnie od mechanizmu krystalizacji (wzrost sprzężony ziaren tych faz lub wzrost rozdzielny) należałoby nazywać wydzielenia tych faz odpowiednio „eutektycznymi” lub „perytektycznymi”.

Str. 20, „... długie dendryty 1. rzędu...”. Pojęcie „rzędu” dotyczy gałęzi dendrytu, lecz nie samego dendrytu.

Z punktu widzenia cytowanej normy [81] poprawna jest nazwa „termoelement”, a nie „termopara”.

Zgodnie z SI stopnie Celsjusza dopuszczone są do stosowania przy wskazaniu temperatury, natomiast w przypadku szybkości zmian temperatury (zarówno jak i różnicy temperatury) stosować należy jednostki bazujące się na kelwinach: K/s. Dotyczy równania (13) na str. 41.

Uwagi merytoryczne i pytania

1. Niejasnym pozostaje, czy krzywa kalorymetryczna chłodzenia nadstopu Inconel 713C (rys. 9, str. 14) jest wynikiem badań własnych autora, czy cytowaniem? Czy podczas chłodzenia w zakresie temperatury na odcinku 3-4 (rys. 9) w stopie nie występują żadne przemiany fazowe?
2. Opis krystalizacji na str. 14 z punktu widzenia termodynamiki krystalizacji równowagowej jest niepoprawny. Z obniżeniem temperatury stopu, po zakończeniu stadium 1. krystalizacji, czyli krystalizacji pierwotnej ($L \rightarrow \gamma$), skład chemiczny fazy ciekłej przybiera stężenie umożliwiające krystalizacji eutektyki podwójnej. Rozpoczyna się więc, krystalizacja eutektyczna (opisywana schematem $L \rightarrow MC + \gamma$). Termodynamicznie krystalizacja odrębnych węglików ($L \rightarrow MC$) nie jest możliwa.
3. Czy oznaczenia na rys. 12 są poprawne?
4. Czy wyższy gradient temperatury na froncie krystalizacji jednoznacznie wskazują na większą prędkość migracji granicy pomiędzy fazą stałą a fazą ciekłą? (Pytanie jest związane z rys. 14, str. 19).

5. Czy rys. 15-17 są wynikami badań własnych Autora? Jeżeli są to wyniki własne, proszę przedstawić metodę trawienia zglądów dla tych rysunków.
6. Konwekcyjny ruch ciekłego stopu może powodować destrukcję dendrytów kolumnowych w przypadku wlewków lub odlewów o dużym przekroju. Czy są dane lub publikacje na temat występowania tego zjawiska w przypadku ścianki o grubości kilku milimetrów?
7. Nie zgadzam się ze sformułowaniem „Powstają ziarna o kształcie wydłużonych płytek dendrytycznych...” (opis rys. 16 na str. 20). Którego fragmentu na rys. 16 miałyby dotyczyć?
8. Str. 21: „Szybkość zarodkowania homogenicznego podczas dalszej krystalizacji osiąga zbliżoną wartość do prędkości swobodnego wzrostu ziaren...”. Porównanie szybkości zarodkowania (jednostka $m^{-3} \times s^{-1}$) z prędkością przemieszczania się frontu krystalizacji (m/s) jest niedopuszczalne.
9. Czy struktura ($\gamma + \gamma'$) jest wynikiem przemiany w fazie stałej (str. 15), czy wynikiem krystalizacji eutektycznej (str. 22)?
10. Jaki sens ma wyznaczenie „krytycznego” zakresu krystalizacji – pomiędzy temperaturą rozpoczęcia krystalizacji eutektycznej a temperaturą solidus?
11. Sformułowanie „Odlew krystalizujący swobodnie – wlewk...” jest niefortunne. Są zarówno małe wlewki o przekroju poprzecznym rzędu 100 mm, jak i odlewy, których grubość ścianki jest prawie o rząd wielkości większa.
12. Do czynników stałych wpływających na szybkość chłodzenia zaliczone zostały parametry szczeliny skurezowej: współczynnik przewodzenia ciepła i szerokość (str. 22). Uważam, że jest to czynnik zmienny, ponieważ szerokość szczeliny przed pojawieniem się ciągłego naskórka fazy stałej na powierzchni odlewu jest zerowa, a następnie zmienia się w czasie dalszej krystalizacji odlewu.
13. Szkoda, że w tabeli 2 (str. 32) dla części parametrów wskazano jedynie źródła informacji bez podania odpowiednich wartości zmiennych.
14. Str. 36: „Analizę ilościową węglików prowadzono na zglądach wykonanych zgodnie z opracowaną procedurą (tab. 2)”. Niestety, w pracy nie występuje tabela z opisem procedury analizy ilościowej węglików.

15. Zastosowanie numeracji pomiarów od 1 do 16 na rys. 28 oraz od 1 do 8 w tabeli 4 utrudnia właściwą interpretację zestawianych na tym rysunku wyników.
16. Proszę szczegółowo opisać procedurę weryfikacji hipotezy statystycznej opisanej na str. 37-38. W jaki sposób wyznaczono odchylenie standardowe (tab. 4). Z tekstu rozprawy pozostaje niejasnym, czym się różnią kolejne pomiary (rys. 28) i doświadczenia (tab. 4). Z rysunku 28 wynika, że kolejność pomiaru ma bliski do liniowego wpływ na odległość pomiędzy gałęziami wtórnymi dendrytów. Proszę o wyjaśnienie.
17. Popołniono pomyłkę w cytowaniu źródła zależności (10) na str. 39. Proszę o wskazanie poprawnego źródła.
18. Oprogramowanie ProCAST pozwala wyznaczyć parametr λ_2 (odległość pomiędzy gałęziami wtórnymi dendrytów) na podstawie równania $\lambda_2 = (M \cdot t_f)^{1/3}$, równoważnego równaniu (10) na str. 39. Proszę opisać, w jaki sposób zostały dobrane parametry zależności (11) na str. 39. Jakie poziomy graniczne temperatury zostały wybrane dla wyznaczenia czasu i średniej szybkości krystalizacji?
19. Jak na dokładność metody wyznaczania szybkości chłodzenia na podstawie odległości pomiędzy gałęziami wtórnymi dendrytu może wpłynąć zmiana zakresu temperatury, dla którego wyznaczana jest średnia szybkość chłodzenia, a mianowicie: zamiast zakresu likwidus - solidus, zakres likwidus – temperatura rozpoczęcia krystalizacji eutektycznej?
20. Rysunek 30 przedstawia wpływ odległości (prawdopodobnie od czoła walcowej próby schodkowej), lecz jest zatytułowany „Wpływ średnicy odlewu...”.
21. Popołniono pomyłkę w numeracji rysunku na stronie 48, zamiast 36 powinno być 37. Numeracja kolejnych rysunków (od rys. 38) jest natomiast poprawna.
22. Zgodnie z tabelą 8 błąd pomiaru wynosi 0,00003 s, natomiast wartości czasów podane z dokładnością do 1 s.
23. Dane przedstawione na rys. 61-63 (str. 72, 73) byłoby wygodnie analizować na wykresach bezpośrednich z pominięciem zmiennej „średnica odlewu”.
24. Przekroje wzdłużne łopatki G-K i W (rys. 71 na str. 81) zostały wskazane jako poprzeczne na rys. 73 (str. 84). Jak faktycznie zostały wykonane te przekroje?
25. Zgodnie z rys. 72 (str. 82) w przekroju poprzecznym G oszacowana szybkość chłodzenia podczas krystalizacji wynosi: dla łopatki pełnej 0,97 K/s, a dla łopatki rdzeniowanej 0,90

K/s. Zgodnie z rys. 45 i 46 (str. 53) grubość ścianki odlewu nierdzeniowanego w tym miejscu powinna być ponad trzy razy większa niż grubość ścianki odlewu ze rdzeniem. Prócz tego, oszacowana dla tego przekroju łopatki (G) szybkość chłodzenia jest mniejsza, niżeli uzyskana dla przekroju zamka (W), który ma większą grubość i jest przyłączony do belki wlewowej. Proszę o wytłumaczenie.

26. W tabeli 20 (str. 90) jako czynnik pozytywnie wpływający na odporność na pełzanie w warunkach eksploatacji wskazano zmniejszenie rozmiarów kryształów fazy γ' . Niestety w pracy nie przedstawiono wyników wskazujących na zmniejszenie tych rozmiarów.

6. Ocena końcowa

Przytoczone uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy zarówno pod względem zastosowanych metod badawczych, jak też uzyskanych wyników i ich interpretacji. Autor rozprawy zrealizował zakres merytoryczny pracy. Wykazał się wiedzą, umiejętnością w prowadzeniu eksperymentów oraz w opracowaniu i analizie wyników.

Na podstawie przeanalizowania tekstu rozprawy doktorskiej mgr inż. Jacka Nawrockiego reprezentującej dyscyplinę „Inżynieria Materiałowa” zatytułowanej „Kształtowanie polikrystalicznej mikrostruktury nadstopu Inconel 713C w cienkościennych elementach części gorącej silników lotniczych”, której promotorem jest Prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski, a promotorem pomocniczym dr inż. Dariusz Szeliga, stwierdzam, że Autor:

- wybrał temat rozprawy ważny dla opracowania i rozwoju nowych procesów technologicznych wytwarzania cienkościennych odlewów polikrystalicznych elementów części gorącej silników lotniczych z nadstopu IN 713C;
- przeanalizował wystarczający i spójny zakres zagadnień rozpatrywanych w rozprawie;
- przeprowadził badania wpływu szeregu parametrów technologicznych na mikrostrukturę cienkościennych odlewów z nadstopu IN 713C;
- pokazał, że cienkościenny (rdzeniowany) odlew łopatki z nadstopu IN 713C cechuje się mniejszym poziomem porowatości i mniejszymi wymiarami porów niż odlew pełny (nierdzeniowany) z analogiczną geometrią zewnętrzną;
- uzyskał wyniki, które mogą być wykorzystane w dalszych pracach badawczych i rozwojowych.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu w zakresie kontroli jakości polikrystalicznej mikrostruktury cienkościennych odlewów z nadstopu Inconel 713C na bazie

niklu stosowanych dla wykonania elementów części gorącej silników lotniczych. Autor rozprawy wykazał ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej, a szczególnie w zakresie metaloznawstwa i krystalizacji nadstopów oraz udowodnił umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Na tej podstawie stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami).

Przedkładam więc Wysokiej Radzie Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej wniosek o dopuszczenie **mgr inż. Jacka Nawrockiego** do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Andriy Burbelko, prof. nadzw. AGH

12.01.2018 r.