

dr hab. inż. Andrzej Nowotnik, prof. PRz
Katedra Nauki o Materiałach
Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska
al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów

Rzeszów, 01.08.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola KOBIELI

**pt.: „Opracowanie technologii addytywnej obróbki wiązką elektronów
stopu Ti-55511 (Ti-5Al-5V-5M0-1Cr-1Fe)”**

**opracowana na zlecenie Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej
Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej,
dra hab. inż. Jacka Reintera, prof. uczelni, z dnia 7.06.2022 r.**

1. Zasadność doboru tematyki rozprawy

Analiza dotychczasowego stanu wiedzy o konstruowaniu i technologii potwierdza, że o postępie cywilizacyjnym decydować będzie rozwój metod wytwarzania z uwzględnieniem zastosowania nowych, jak i również obecnie dostępnych materiałów. Technologie przyrostowe (zwane również addytywnymi) należą do tych metod, które mogą profilować w kolejnych dekadach systemy projektowania, produkcji i wdrażania nowych rozwiązań stosowanych w procesie dystrybucji wyrobów w przemyśle medycznym, lotniczym, motoryzacyjnym, narzędziowym i innych. Ich zastosowanie w praktyce produkcyjnej umożliwi osiągnięcie oczekiwanego przez rynek ograniczenia problemów z nadmiernym zużyciem surowców i obniżeniem kosztów produkcji. Technologie przyrostowe, należące do zaawansowanych metod wytwarzania, przy wciąż realizowanych pracach z obszaru B+R w jednostkach krajowych, m.in. prowadzonych przez grupę badawczą prof. dr. hab. inż. Edwarda Chlebusea, stają przed wyzwaniem wypracowania nowego modelu rozwojowego w globalnej gospodarce produkcyjnej. Stąd, bardzo ważne jest prowadzenie badań w tym zakresie, poprzez zastosowanie w pracach m.in. przyjętych modeli fizycznych zjawisk i metod numerycznych, wyników danych materiałowych i technologicznych ułatwiających prowadzenie procesów przyrostowych z uwzględnieniem opracowanych parametrów materiałowych zapewniających najwyższe lub prognozowane właściwości wyrobów, przy jednoczesnym osiągnięciu zakładanych kryteriów ekonomicznych. Użytkownicy technologii muszą zatem dążyć do rozszerzenia obszaru wiedzy o metodach wytwarzania, jak i również o materiałach, które mają być stosowane w procesach produkcji gotowych wyrobów w technologii AM, poprzez czynną konsumpcję wyników badań oraz efektów rozwoju materiałów i nowych technik wytwarzania. Wszystko to w celu

osiągnięcia zakładanych dla danego zastosowania właściwości mechanicznych, fizycznych i chemicznych, jak i również cech użytkowych gwarantujących prawidłową realizację procesu produkcji i uzyskanie właściwości funkcjonalnych projektowanych wyrobów czy urządzeń. Dobór i ocena nowych materiałów do zastosowań w metodach przyrostowych wymaga wciąż realizacji badań z obszaru praktyki inżynierskiej w celu uzyskania zespołu danych fizycznych, chemicznych oraz mechanicznych zapewniających osiągnięcie przez gotowy produkt, cech jakościowych i użytkowych zgodnych z wymaganiami odbiorcy. Wymaga to głębszej wiedzy z obszaru metody wytwarzania, jak i również z zakresu nauki o materiałach uwzględniającej ograniczenia produkcyjne wynikające z dużej złożoności współczesnych konstrukcji i technologii oraz trudnych warunków pracy gotowego wyrobu. Prowadzenie badań weryfikacyjnych realizowane jest przy uwzględnieniu charakterystyki samego procesu, ale i również wyrobu poprzez ocenę i opis składników fazowych mikrostruktury zapewniających uzyskanie wymaganych właściwości wytrzymałościowych. Konieczne zatem jest prowadzenie badań z zakresu wiedzy z obszarów pokrewnych warunkujących i ukierunkowujących ich realizację. Do tego rodzaju prac należą również badania nad możliwością dostosowania technologii przyrostowej do procesów produkcji coraz bardziej skomplikowanych, pod względem geometrycznym wyrobów, ale i również prace z obszaru zmian konstrukcyjnych urządzeń stosowanych w tej technologii. Wzrost wymagań jakościowych wobec wyrobów wytwarzanych w technologii przyrostowej warunkuje coraz szersze stosowanie nowych materiałów proszkowych, w tym również stopów tytanu, co wynika z ich jakościowo innych właściwości w porównaniu z powszechnie stosowanymi proszkami stopów metali z grupy tworzyw funkcjonalnych i konstrukcyjnych o unikatowych właściwościach fizycznych, chemicznych oraz mechanicznych. Osiągnięcia w zakresie modyfikacji technologii, opracowania nowych założeń konstrukcyjnych krytycznych dla technologii przyrostowej elementów roboczych urządzeń, jak i również w zakresie jednego z podstawowych zagadnień inżynierii, a więc metod doboru materiałów i warunków ich stosowania w technologii przyrostowej, nadają kierunek rozwoju konstrukcji w różnych dziedzinach techniki. Stąd, z uznaniem podkreślam trafioną intuicję Pana mgr. inż. Karola Kobieli w doborze tematyki rozprawy doktorskiej. Temat rozprawy jest aktualny i uzasadniony, a ze względu na złożoność zjawisk występujących w procesie wytwarzania części metalicznych przy zastosowaniu technologii addytywnej oraz parametrów technologicznych poddanych analizie, ambitny i odpowiednio wpisujący się w obszar inżynierii mechanicznej.

2. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Karola Kobieli składa się z 10-ciu rozdziałów, wykazu literatury i załącznika – łącznie 176 stron w tym 120 rysunków i 31 tablic. Wykaz cytowanej literatury obejmuje 130 pozycji w dobrym stopniu charakteryzujących stan wiedzy związanej z tematyką rozprawy. Znaczna część pozycji literaturowych (64) to opracowania z ostatnich kilkunastu lat (od 2010 do 2021 r.), co potwierdza prawidłowy dobór źródeł literaturowych, na

podstawie których Doktorant przeprowadził analizę stanu zagadnienia w świetle obecnych na rynku naukowym najnowszych osiągnięć z obszaru technologii przyrostowych, materiałów proszkowych, jak i również badań wyrobów wytwarzanych w procesach tzw. mikrometalurgii. Analiza treści rozprawy wskazuje, że łatwo wyróżnić trzy jej podstawowe części:

- charakterystykę dotychczasowego stanu wiedzy zarówno w zakresie stopów tytanu i przyrostowych technologii wytwarzania ze szczególnym uwzględnieniem fizycznych aspektów procesu E-PBF, jak i również charakterystyki stosowanego w badaniach stopu Ti- 55511;
- badania własne – metodyka ich prowadzenia – opracowanie założeń konstrukcyjnych w zakresie adaptacji stanowiska badawczego do prowadzenia badań, doboru i charakterystyka materiału proszkowego, opracowanie parametrów procesu wytwarzania w technologii E- PBF oraz charakteryzacja właściwości jakościowych i użytkowych wyprodukowanych wyrobów;
- analizę wyników badań i wnioski.

Tytuły rozdziałów w pełni odpowiadają ich zawartości merytorycznej. Kolejność poszczególnych rozdziałów stanowi spójne opracowanie dotyczące ściśle określonego obszaru badawczego z zakresu weryfikacji technologii i materiału w kontekście możliwości zastosowania w procesie produkcji gotowych wyrobów. W ocenie Recenzenta brak jest jednoznacznego wskazania w pracy rozdziału, który definiowałby w sposób skonsolidowany zakres metodyki badawczej w odniesieniu do zaplanowanych badań i prac. Takie zestawienie metod badawczych w jednym podrozdziale ze zdefiniowaniem planu prac, w kontekście prowadzonej w późniejszych rozdziałach analizy wyników, z oceną prawidłowego doboru parametrów procesowych, jakości proszku, oceny proponowanych zmian konstrukcyjnych stanowiska produkcyjnego, doboru warunków poprodukcyjnych, determinujących jakość wyrobów, umożliwiłoby czytelnikowi skorelować techniki badawcze z załączonym w rozdziale 5.2 planem prac technologicznych. Uwaga ta nie ma wpływu na możliwość prawidłowej oceny przeprowadzonej analizy badań, wyników i podsumowania w postaci wniosków. Doktorant dokonał wyboru prowadzenia prac badawczych i analizy uzyskiwanych w trakcie ich realizacji wyników w formie kaskadowego opracowania z oceną wpływu poszczególnych etapów badań na finalne właściwości wyrobu, co stanowiło podstawę opracowania wniosków o znaczeniu poznawczym oraz użytkowym. Dla Doktoranta będzie miało to pozytywne znaczenie w prowadzeniu dalszych prac zdefiniowanych już w rozdziale „Wnioski i podsumowanie” w zakresie optymalizacji parametrów wygrzewania wstępnego materiału oraz procesu E-PBF, zmiany składu chemicznego materiału wsadowego, weryfikacji możliwości zastosowania opracowanej metodyki badań do innych rodzajów materiałów oraz implementacji zastosowania w procesie kontroli jakości elektronicznego obrazowania wyrobów.

W części pierwszej rozprawy zgodnie z jej tematyką i przeznaczeniem, Doktorant zawarł najważniejsze informacje dotyczące charakterystyki zarówno materiałów, jak i technologii ich

„przetwarzania” w procesach przyrostowych, ze szczególnym uwzględnieniem elektronowej mikometalurgii proszków – EBM/E-PBF. Uwzględnił opis zjawisk fizycznych determinujących jakość prowadzonych procesów wytwarzania w technologii przyrostowej. Ponadto omówił podstawowe założenia do projektowania procesu wytwarzania z wykorzystaniem metody E - PBF, z uwzględnieniem ograniczeń technicznych procesu, determinujących finalne właściwości jakościowe i użytkowe gotowych wyrobów. I moja pierwsza uwaga z prośbą o wyjaśnienie. Autor przyjmuje (str. 34) – „Stop Ti-55511 jak dotąd nie był przedmiotem intensywnych badań z użyciem technologii typu powder-bed. W literaturze można znaleźć odniesienia do badań przeprowadzonych na bliźniaczym stopie Ti-5553 z wykorzystaniem technologii L-PBF”. Przyjąć można, że ogólnie jest to założenie prawdziwe. Istnieją jednak prace opisujące prowadzenie działań z obszaru produkcji i wytwarzania elementów ze stopów Ti, w tym stopu Ti-55511, w procesie m.in. SLM, które mogłyby stanowić podstawę opracowania założeń procesowych, jak i również doboru parametrów przygotowania materiału pod kątem zastosowania w technologiach przyrostowych. Doktorant nie przedstawił w pracy syntetycznego odniesienia do obecnych w literaturze prac, które w tym przypadku poszerzałyby wiedzę z zakresu obecnych i stosowanych rozwiązań AM dla stopów tytanu. Bo na tej podstawie można oceniać np. możliwości aplikacyjne stopu, który Doktorant przyjął jako główny materiał do badań. Oczywiście, należy się zgodzić, że nie można bezpośrednio odnosić się do założeń badawczych w kontekście prowadzonych analiz dla procesu E-PBF dla elementów ze stopów tytanu wytwarzanych metodą SLM, to jednak ustalenie samej metodyki badań, szczególnie przy ich prowadzeniu nie na stopach modelowych, ale dla rzeczywistych warunków technologicznych, umożliwiłoby określić zależności pomiędzy strukturą i właściwościami wyrobów uzyskanych w procesach wymagających zastosowania wysokiej energii przetapiania materiału proszkowego. Ustalenie ilościowych związków pomiędzy tymi cechami, wciąż jest dalekie od pełnego rozwiązania, zwłaszcza gdy (w tym przypadku stop Ti-55511) nowy materiał uwzględniany jest w produkcji elementów z wykorzystaniem nowej metody przetwarzania stopu Ti-55511, do których Doktorant zalicza proces E-PBF. I stąd moje pytanie o uzupełnienie i odniesienie się do istniejących w literaturze wyników badań, które dotyczą charakterystycznych warunków prowadzenia analizy właściwości wyrobów z materiału w postaci proszków ze stopów tytanu (głównie stopu stanowiącego materiał do badań w pracy), jak i warunków procesu ich wytwarzania w odniesieniu do zastosowania w metodach L-PBF oraz E-PBF.

Stwierdzam, że w tej części rozprawy wyczerpująco przedstawiono stan wiedzy związany z przyrostowymi technologiami wytwarzania. Po zapoznaniu się z podstawowymi problemami sformułowano cel pracy – „...usystematyzowanie metody przetwarzania stopów metali z wykorzystaniem technologii E-PBF na przykładzie wybranego stopu Ti-55511, zmierzając do uzyskania parametrów technologicznych umożliwiających wytwarzanie elementów o określonych właściwościach materiałowo-mechanicznych”. Cel pracy definiuje założenie dotyczące „usystematyzowania metody przetwarzania stopów metali...”. Moim

zdaniem, brakuje jednak w opracowanym studium literatury odniesienia do obecnego stanu wiedzy z obszaru „przetwarzania stopów metali” wprowadzającego czytelnika w problematykę technologii E-PBF w kontekście stosowanych obecnie materiałów proszkowych.

W kolejnej części pracy dokonano doboru metodyki i programu badań, który opisano w tabeli „Plan badań technologicznych”. Oceniam je jako prawidłowe i potwierdzające dobrą znajomość problematyki badawczej przez Doktoranta.

Rozprawa jest napisana poprawnym językiem z użyciem właściwej terminologii i wydana została na wysokim poziomie edytorskim. Dobrze oceniam terminologię dotyczącą problematyki technologii przyrostowych. Świadczy to o dobrym rozeznaniu Doktoranta w obszarze objętym rozprawą, tj. inżynierii produkcji, metod wytwarzania wyrobów z materiałów metalicznych i analitycznych technik badania ich właściwości. Styl i ortografię recenzowanej rozprawy należy uznać za bardzo dobre. Pomimo dużej ilości prac z obszaru produkcyjnego, porównywania wyników badań elementów o różnej geometrii, weryfikacji właściwości i walidacji zakładanych parametrów procesowych, pracę należy uznać za przejrzystą i zrozumiałą. Wszystkie ilustracje i tabele zamieszczone w rozprawie należy uznać za wymagane do przejrzystego prowadzenia analizy uzyskiwanych w trakcie pracy wyników, co ułatwia ich interpretację. Rysunki przygotowano starannie z użyciem opisów, które pozwalają odnieść się czytelnikowi do wskazywanych przez Doktoranta wyników prezentowanych badań. W przypadku użycia danych literaturowych, Doktorant stosuje podpisy pod ilustracjami zawierające odnośnik wskazujący pozycję zawartą w spisie literatury. Odnośnik do danych źródłowych pozwala poszerzyć wiedzę z obszaru prac realizowanych przez jednostki prowadzące badania z obszaru zbieżnego z wynikami badań prezentowanych w rozprawie doktorskiej. Wskazuje to na poprawność Autora w korzystaniu z literatury. Wszystkie rysunki i tabele są czytelne i opisane prawidłowo.

3. Ocena prowadzonych badań i analizy ich wyników

W części drugiej rozprawy Doktorant prowadzi badania technologiczne oraz charakteryzację „obiektów, struktur i elementów objętościowych” poprzez analizy mikrostruktury oraz właściwości fizycznych i mechanicznych. Stosuje w tych badaniach metody mikroskopii zarówno świetlnej, jak i elektronowej oraz tomografii rentgenowskiej CT, a także próbę statyczną rozciągania i pomiaru twardości. Podstawą opracowania założeń procesowych z wykorzystaniem stopu tytanu oraz nowych warunków prowadzenia procesów wytwarzania E-PBF jest staranna analiza wyników badań prowadzona przez Doktoranta. Wykonał dobrze przygotowane i pracochłonne badania. Umożliwiły one przygotowanie procedury oceny ilościowej oraz jakościowej wybranych demonstratorów technologii (pochodzących z polskiej konstrukcji samolotu produkcji PZL-Mielec) w zakresie weryfikacji możliwości produkcyjnych procesu E-PBF stopu Ti-55511.

Wyniki prowadzonych badań i sposób analizy wyników pozwoliły Doktorantowi na potwierdzenie stopnia trafności przyjętych założeń w zakresie parametrów produkcyjnych przy

prowadzeniu procesów wytwarzania w technologii przyrostowej E-PBF i zastosowanych metod badawczych i weryfikacyjnych demonstratorów, a także dokonania oceny oraz podjęcia próby wskazania problemów technologicznych, które stanowiły podstawę zdefiniowania wytycznych procesu produkcyjnego. Wykazały także Jego dobre przygotowanie do prowadzenia pracy naukowo – badawczej i dużą wiedzę ze szczególnym uwzględnieniem metod charakteryzacji właściwości mechanicznych, opisu parametrów procesowych oraz struktury i mikrostruktury elementów ze stopu tytanu wytwarzanych w procesie E-PBF. W efekcie uzyskano planowane rozwiązanie – opracowanie technologii wytwarzania z proszków ze stopów tytanu w technologii E-PBF gwarantujące osiągnięcie stabilnych i powtarzalnych właściwości jakościowych i ilościowych gotowych wyrobów. Cel został osiągnięty poprzez realizację prac badawczych zmierzających do:

1. Opracowania i zbudowania laboratoryjnego stanowiska badawczego.
2. Oceny jakościowej i ilościowej materiału wsadowego w kontekście możliwości zastosowania proszku ze stopu tytanu w technologii E-PBF.
3. Opracowania parametrów procesu wytwarzania z uwzględnieniem procesu spiekania proszku (faza I), badań właściwości w odniesieniu do grubości ścianki wyrobów (faza II) oraz oceny porowatości, mikrostruktury, składu chemicznego i właściwości mechanicznych wytworzonych elementów.
4. Oceny jakości i właściwości demonstratorów opracowanej technologii.
5. Weryfikacji przyjętych założeń technologicznych.

Oceniając przyjęte założenia i cel oraz zakres wykonanych badań stwierdzam, że spełniają one oczekiwania stawiane pracom doktorskim zarówno w zakresie oryginalności, jak i kompletności (program badawczy). Praca jest napisana poprawnie i dopracowana edytorsko. Godne podkreślenia jest odniesienie się Doktoranta, w trakcie prezentacji swoich wyników do podstawowych i aktualnych wyników badań podanych w literaturze światowej.

Należy także zwrócić uwagę, że Doktorant przedstawił w rozdziale 10. „Wnioski i podsumowanie” konkretne zalecenia technologiczne, w formie tabeli 31 i 32, mogące być bezpośrednio wykorzystane w praktyce inżynierskiej. Należy jednak zaznaczyć, że uzyskane w trakcie pracy wyniki badań nie stwarzają jeszcze wystarczających podstaw do przyjęcia ich jako normatywy dla prowadzenia procesów wytwarzania w technologii E-PBF elementów ze stopów tytanu. Należy zaznaczyć, że wymagania dla opracowań gotowych wytycznych dla procesów produkcyjnych na podstawie zakresu badań własnych przekraczają możliwości pojedynczego badacza, nawet przy realizacji bardzo rozbudowanej pracy doktorskiej. Praca Doktoranta zasługuje na uznanie, ponieważ pomimo dużej liczby realizowanych procesów, doboru parametrów zarówno materiałowych, jak i również technologicznych i różnorodności wyników typowych dla tego rodzaju badań, wskazał na czynniki technologiczne mające istotny wpływ na jakość wyrobów wytwarzanych w procesie E-PBF ze stopów tytanu i jej wpływ na ich trwałość eksploatacyjną.

Praca jest praktycznie pozbawiona typowych błędów literaturowych. Dostrzeżone drobne usterki stylistyczne pomijam w recenzji ze względu na ich marginalne znaczenie.

Pomimo staranności mgr inż. Karol Kobiela nie ustrzegł się nielicznych niedociągnięć w opisie i charakterystyce prowadzonych badań. Często są wynikiem uszczegółowienia opisu prowadzonych prac i próby przedstawienia wyników bez wstępnej ich analizy i syntezy. Uwagi dotyczą następujących zagadnień:

- „W ocenie materiałowej określono podstawowe właściwości fizyczne” (str. 55) – Sugerowałbym stosowanie w tym przypadku określenia „właściwości technologiczne”, czy też „parametry procesu”, bo takie parametry Doktorant wymienia w opisie Etapu I planowanych do realizacji prac.
- „Pierwsza grupa obejmuje próbki, na bazie których oceniana jest wartość siły spieczenia...” (str. 55). Pamiętać należy, że spiekanie jest jednym z procesów technologicznych determinujących jakość wytworzonych elementów. Stosowanie terminu „siła spieczenia” Doktorant odnosi do zjawiska, czy procesu technologicznego, który dotyczy mechanicznego połączenia cząstek proszku powodującego powstanie punktowych zgrzein cząstek proszku w czasie prowadzonego procesu przetwarzania. Doktorant zastosował ten termin w odniesieniu do badań, których wyniki przedstawił w rozdziale 7.1.1 i „siła spieczenia” w celu opisu zjawisk zachodzących w czasie realizowanych procesów AM. Warto w tym przypadku byłoby wyjaśnić na początku prowadzonych analiz co Doktorant miał na myśli określając właściwości elementów, czy materiałów proszkowych poprzez użycie tego terminu. Może warto w tym przypadku rozważyć zastosowanie terminu „stopień spieczenia”?
- Kształtowanie właściwości wyrobów wytwarzanych w technologii AM z dwufazowych stopów tytanu wynika z cech fizycznych tytanu, przemiany alotropowej, jak i również zależy od warunków prowadzonych procesów, w tym obróbki cieplnej. Morfologia składników fazowych mikrostruktury tej grupy stopów ulega zmianie, zwłaszcza w przypadku nagrzania stopu do temperatury początku przemiany fazowej. Stąd prognozowanie finalnych właściwości wytrzymałościowych elementów ze stopów tytanu wykonanych przy zastosowaniu metody E-PBF wymaga uwzględnienia i prawidłowej kontroli temperatury prowadzenia procesu. Czy prowadzono badania w zakresie opisu zmian mikrostruktury (wpływu np. parametrów stereologicznych składników fazowych na właściwości próbek) w kontekście prognozowania występowania przemian fazowych determinujących osiągnięcie zakładanego składu fazowego i morfologii składników fazowych mikrostruktury w odniesieniu do trwałości eksploatacyjnej wytwarzanych wyrobów?
- Autor nadużywa w rozdziale 8.2.1 terminu „kierunek wzrostu ziaren mikrostruktury”. Sugerowałbym stosowanie terminu „kierunek krystalizacji”.
- „Struktura warstwy wierzchniej była matowa samo pęknięcie było charakterystyczne dla przelomów plastycznych” (str. 127). Doktorant opisywał powierzchnię przelomu, a nie strukturę warstwy wierzchniej. Pęknięcie miało charakter plastyczny.


- „Powierzchnia struktury wierzchniej była matowa wewnątrz oraz błyszcząca przy krawędziach przełomu” (str. 127) – sugerowałbym stosowanie opisu dotyczącego powierzchni przełomu, a nie struktury.
- Rys. 99, str. 127 - Dlaczego Doktorant nie posiłkuje się w opisie charakteru przełomów zdjęciami próbek zamieszczonymi na rys. 99?

4. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Kobieli „*Opracowanie technologii addytywnej obróbki wiązką elektronów stopu Ti-55511 (Ti-5Al-5V-5Mn-1Cr-1Fe)*”, przygotowanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Edwarda Chlebusa, stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, Autor wykazał się szeroką wiedzą w obszarze inżynierii mechanicznej. Potwierdził swoje duże umiejętności w zakresie formułowania problemów badawczych, planowania badań i doboru metodyki badawczej, a także praktycznej realizacji badań materiałowych z wykorzystaniem nowoczesnych, zaawansowanych metod badawczych i analizowania uzyskanych wyników. Autor pracy, Pan mgr inż. Karol Kobiela:

- wykazał się dużą wiedzą w dziedzinie stanowiącej przedmiot pracy,
- opracował warsztat badawczy i metodykę badań potrzebną do realizacji zamierzonego celu (godne podkreślenia jest opracowanie i zbudowanie indywidualnego stanowiska technologicznego pod potrzeby prowadzenia działań procesowych) i prawidłowo prowadził eksperyment doświadczalny,
- prawidłowo interpretował wyniki badań oraz przedstawił wartościowe wyniki z obszaru wpływu parametrów procesu E-PBF na właściwości wyrobów ze stopu Ti,
- osiągnął zamierzony cel i wykazał dokładność przy realizacji rozprawy.

W mojej opinii wymieniona rozprawa doktorska w pełni odpowiada warunkom stawianym w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce / Dz. U. 2022, poz. 574 z póź. zm., w zakresie nadawania stopni naukowych i na tej podstawie wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgra inż. Karola KOBIELE do publicznej obrony.



.....
dr hab. inż. Andrzej Nowotnik, prof. PRz