

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny KAROLEWSKIEJ
pt. *Analiza właściwości zmęczeniowych elementów ze stopu Ti6Al4V*
wytworzonych technologią addytywną

Promotor: dr hab. inż. Bogdan LIGAJ

Promotor pomocniczy: dr inż. Mateusz WIRWICKI

Recenzja została opracowana na podstawie pisma prof. dr hab. inż. Dariusza Borońskiego, przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny *Inżynieria Mechaniczna* Politechniki Bydgoskiej z dnia 15.03.2023 r.

1. Ocena merytoryczna pracy

1.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska przedstawiona do oceny stanowi tekst jednolity wydany w postaci książki liczącej 192 strony w formacie B5. Rozprawę podzielono na 7 głównych rozdziałów numerowanych (poza bibliografią i streszczeniami w dwóch językach, umieszczonymi na końcu pracy). Część teoretyczna (literaturowa) stanowi nieco mniej niż połowę objętości pracy (~80 stron), pozostałą objętość zajmują opisy prac eksperymentalnych zrealizowanych bezpośrednio przez doktorantkę w ramach części praktycznej pracy. Jest to zatem układ typowy dla rozpraw doktorskich przedstawianych do obrony w naukach inżynierijno-technicznych, których głównym przedmiotem są badania eksperymentalne. Podział pracy na rozdziały odbiega jednak nieco od typowego podziału literatura – metodyka – wyniki. Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące układu rozprawy zostały przedstawione w dalszej części recenzji.

Można mieć uwagi co do pełnej adekwatności tytułu rozprawy – wynika z niego skupienie się wyłącznie na wytrzymałości zmęczeniowej, gdy tymczasem znaczną część rozprawy stanowią wyniki badań statycznych (rozciąganie, twardość), czy nieniszczących (badania obrazowe, chropowatość).

1.2. Trafność i oryginalność podjętej tematyki badawczej

Podjęta w rozprawie tematyka badawcza obejmuje badanie wybranych właściwości mechanicznych próbek wykonanych technologią DMLS z popularnego stopu Ti6Al4V. Doktorantka, po przeanalizowaniu dostępnej literatury, zidentyfikowała określone luki poznawcze i trendy w badaniach, a następnie sformułowała cele i zakres pracy, jak również uproszczoną hipotezę badawczą. Ogółem podjętą tematykę oceniam jako aktualną i ważną i przychyliam się do zdania doktorantki, która stwierdza

że „mimo wielu publikacji nadal trudno jest przewidzieć zachowanie się materiału wytworzonego metodą druku 3D i należy poszerzać badania mające na celu jak najdokładniejsze poznanie materiałów wykonanych tą technologią”. Problem co do zasady jest ważny i wciąż aktualny, choć został zauważony już ponad dwie dekady temu, trudno zatem uznać go za całkowicie innowacyjny i przełomowy.

Uważam, że zarówno podjęta szczegółowa tematyka, postawiona hipoteza (nazywana przez doktorantkę tezą – w mojej opinii nieprawidłowo, ale jest to kwestia semantyki), jak i zdefiniowane przez doktorantkę cele pracy spełniają znamiona pracy naukowej na poziomie pozwalającym mówić o badaniach na potrzeby rozprawy doktorskiej. W pracy brakuje jasnego zdefiniowania nierozwiązanych problemów naukowych (są tylko cele oraz teza) – ale można się ich domyślić przez domniemanie, nie jest to zatem duże uchybienie.

W mojej osobistej opinii (z którą doktorantka nie musi się zgadzać) warto byłoby jednak rozszerzyć zakres przeprowadzonych badań, tak aby zwiększyć ich potencjał aplikacyjny czy walor poznawczy. Doktorantka podjęła się uzupełnienia zidentyfikowanych przez nią trafnie i dość szczegółowo luk poznawczych – braku w literaturze pewnych badań dotyczących właściwości zmęczeniowych konkretnego stopu. Przeprowadzone badania są adekwatne tak ilościowo, jak i jakościowo. Natomiast uważam temat za wchodzący zbyt głęboko i szczegółowo w jedno, dość specyficzne zagadnienie. Luk poznawczych w obszarze wytwarzanych przyrostowo stopów metali i wytwarzanych z nich wyrobów jest dużo więcej – na etapie rozwoju nauki, na jakim obecnie się znajdujemy, tego typu pogłębione badania niekoniecznie pozwalają na realizację dużego skoku jakościowego i realny przełom. Według mnie doktorat zyskałby znacząco na wartości, gdyby doktorantka podjęła dodatkowe rozważania na temat właściwości zmęczeniowych oraz użytkowych elementów wykonanych z danego stopu (np. implantów), nawet kosztem redukcji ilości badań przeprowadzonych wyłącznie na próbkach. Podobnie, dużo większa wartość dodana wystąpiłaby gdyby poddać ocenie komparatywnej kilka różnych stopów – wówczas doktorat zyskałby dużo większą wartość poznawczą (można byłoby ocenić czy zaobserwowane zjawiska powtarzają się między różnymi stopami metali wytwarzanymi tą samą technologią).

1.3. Uzyskane rezultaty i ich znaczenie dla nauki i praktyki

Oceniając rozprawę, zaplanowane badania oraz ich rezultaty należy stwierdzić, że przeprowadzone i opisane w rozprawie badania oraz uzyskane wyniki przyczyniły się do ogólnego zwiększenia poziomu wiedzy naukowej w podjętej tematyce. Wykazano różnice między właściwościami mechanicznymi (zwłaszcza zmęczeniowymi) stopu Ti6Al4V przetwarzanego metodą DMLS, w stosunku do konwencjonalnych technik (pręt ciągniony). Uzyskane wyniki są solidnym kompendium wiedzy dla inżynierów, którzy mogą dzięki nim zorientować się jak zachowuje się wybrany (bardzo popularny w praktyce) stop tytanu pod różnymi obciążeniami. Badania przeprowadzono w sposób zgodny z metodą naukową, a także dostępnymi normami i standardami, z wykorzystaniem odpowiedniej aparatury oraz

– jak się wydaje – z zachowaniem należytej staranności i rzetelności. Można zatem uznać, że spełniona jest zwyczajowa przesłanka warunkująca przyznanie stopnia doktora nauk technicznych, tj. samodzielne zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentów badawczych, a następnie interpretacja ich wyników. Dodatkowo, wyniki pracy zostały częściowo przedstawione w czasopismach posiadających współczynnik wpływu oraz wydawnictwach konferencyjnych – i w większości tych publikacji doktorantka figuruje jako pierwszy autor. To potwierdza ich znaczenie naukowe oraz rzetelność.

Należy jednak zwrócić uwagę także na kilka mankamentów w tej sferze. Najważniejszym z nich jest brak krytycznej i wnikliwej interpretacji przyczyn zaobserwowanych zjawisk. Doktorantka ogranicza się wyłącznie do ich przedstawienia i opisu. Obserwacje są trafne i zgodne z wynikami badań – brakuje natomiast jakiegokolwiek próby wyjaśnienia zjawisk które uzewnętrzniają się w wynikach. Przykładowo, doktorantka zaobserwowała trafnie że elementy wykonane technologią DMLS są porowate i występują w nich błędy objętości (co wiadomo także z dostępnej literatury), mogące wpływać na wytrzymałość zmęczeniową. Nie pokusiła się jednak o próbę wyjaśnienia czym są spowodowane błędy objętości i jak ewentualnie można byłoby ich uniknąć, oraz jakie jest ich bezpośrednie przełożenie na wytrzymałość. Podobnie nie podjęto próby wyjaśnienia, czym mogą być spowodowane różnice np. w twardości czy wytrzymałości zmęczeniowej, między próbami PC i DMLS (ograniczono się do stwierdzenia faktu występowania takiej różnicy).

Praca, w mojej opinii, byłaby dużo bardziej wartościowa gdyby wkład autorki w dyskusję wniosków był dużo bardziej kreatywny. W obecnym stanie jest to niestety bardziej raport z przeprowadzonych badań, z dyskusją wyników przeprowadzoną na minimalnym poziomie. Nie umniejsza to całości rozprawy – pracowitość i czasochłonność wykonanych badań są godne podziwu i w zasadzie tak dużą ilością wyników można byłoby obdzielić dwie lub trzy rozprawy doktorskie. Wymagałoby to jednak tego, czego autorce zabrakło – tj. krytycznej próby wyjaśnienia pewnych zjawisk i podjęcia ewentualnej polemiki z dostępną literaturą. W dalszych badaniach prowadzonych przez autorkę pracy zachęcam do podejmowania bardziej krytycznej analizy uzyskanych wyników i podejmowania się wyjaśnienia zaobserwowanych w eksperymencie zjawisk.

1.4. Poprawność formalno-językowa, stylistyczna i interpunkcyjna

Pod względem poprawności formalno-językowej, stylistycznej i interpunkcyjnej, praca stoi na poziomie przeciętnym dla rozpraw doktorskich w naukach inżyniersko-technicznych. Niestety doktorantka nie ustrzegła się licznych drobnych błędów, nieścisłości i niezręczności językowych, które można odnaleźć w pracy dość często. Błędy te zwykle nie mają związku z merytoryką rozprawy – ale rozpraszają i utrudniają jej odbiór, a także zaciemniają przejrzystość przekazu. Nie ma jednak błędów o charakterze rażącym, ani też ich koncentracja nie jest na poziomie nieprzystającym do zwyczajowo przyjętego poziomu rozpraw doktorskich – widać natomiast że tekstowi pracy przydałoby się jeszcze jedna lub dwie iteracje wprowadzania poprawek.

Poniżej wypisano główne błędy ze wskazaniem przykładowych stron w rozprawie, na których zauważono dany błąd.

1. Niewłaściwa forma czasownika w odniesieniu do podmiotu – „3D systems zdefiniował...” (powinno być „firma 3D Systems zdefiniowała”) – str. 9
2. Redundantne określenia - „przydatne w dziedzinie protetyki stomatologicznej oraz medycyny” (protetyka zawiera się w medycynie, więc lepiej byłoby „w dziedzinie medycyny, a szczególnie protetyki stomatologicznej”) – str. 10
3. Niewyważone, nacechowane emocjonalnie przymiotniki – „stop charakteryzuje się ... oraz doskonałych właściwości” (skąd wiemy że są doskonałe? w odniesieniu do czego? nie stosuje się takich określeń, zamiast tego „bardzo dobrych” albo jeszcze inaczej) – str. 27
4. „Wiszący akapit” – pomiędzy nagłówkiem rozdziału głównego, a podrozdziału często występuje tekst, do którego nie można się wówczas odnieść. Taka sytuacja ma miejsce w całej rozprawie – np. początek rozdziału 3 (str. 29) czy 4 (str. 80) – te „wiszące akapity” powinny być po prostu numerowanymi podrozdziałami (odpowiednio 3.1 czy 4.1).
5. Niewłaściwy czas – „celami pracy są” – w przypadku opisu już zrealizowanych badań, właściwsze byłoby zastosowanie słowa „było” – str. 82
6. Niewłaściwa forma słów w liście literowanej: „wykonane badania dotyczyły: a) wyznaczenie właściwości...” – powinno być „wyznaczenia właściwości” – str. 83
7. Różnice w rozmiarze czcionki (str. 83, ostatnie zdanie) czy wielkości interlinii, wcięcia czy odległości między rysunkiem a tekstem (wiele miejsc w pracy).
8. Brak opisu poszczególnych części rysunków – np. rys. 5.2, str. 85, ma części „a)” i „b)” – brak opisu czym jest a) i b).
9. Niewłaściwa deklinacja „posiada wyższe parametrami wytrzymałościowe”, powinno być „parametry wytrzymałościowe” – str. 107
10. Niewłaściwe używanie słów „wyższe” i „niższe” – jak w powyższym przykładzie, powinno być „większe” lub „mniejsze” w odniesieniu do wartości lub ew. „lepsze” czy „gorsze”; podobnie, zamiast „malejąca” oraz „rosnąca” czy „narastająca” powinno być „zmniejszająca się” lub „zwiększająca się” – przykład w rys. 5.26, str. 107
11. Niewłaściwe formatowanie list nienumerowanych – brak wcięć lub nierówne wcięcia, przykład – lista na str. 126/127
12. Odwoływanie się do rysunków w tekście daleko po ich wstawieniu – ostatni akapit na stronie 135 (opis w tekście zawartości rysunków będących na stronach 133 i 134 – powinien być najpierw opis, potem rysunki).
13. Rysunek podzielony na dwie strony (rys. 6.12) – trzeba byłoby raczej zrobić 2 osobne rysunki i odpowiednio je opisać – str. 149

14. Brak spójników w wielu zdaniach – np. „Może wynikać to z technologii addytywnej, parametrów realizacji procesu, ułożenia warstw materiału (...)” – powinno być „parametrów realizacji procesu oraz ułożenia warstw (...)” – str. 167
15. Zagnieżdżone, piętrowe wypunktowania – cały rozdział 7.1. (może lepiej było wprowadzić trzeci stopień numerowanego podrozdziału?)
16. Literówki – relatywnie dużo, przykłady – „poziomow” (str. 107), „progrmowane” (wzór na str. 143)

2. Ocena metodologiczna pracy

2.1. Dobór literatury, umiejętność wykorzystania źródeł

Analiza dostępnej literatury została w mojej opinii przeprowadzona poprawnie, na poziomie właściwym dla rozpraw doktorskich w podobnej tematyce. Wybrana i zacytowana literatura jest w większości przypadków aktualna i właściwie dobrana do zagadnienia. W zasadzie właściwa, klasyczna analiza literatury mieści się w rozdziale trzecim – i została ona przeprowadzona dość wnikliwie, ze szczegółowym, pełnym opisem przeprowadzonych przez różnych autorów eksperymentów i ich wyników (z podaniem pełnych wartości liczbowych) – a całość tego fragmentu podsumowano w dużej objętości tabelach, które mają charakter wręcz quasi-encyklopedyczny. Widać tutaj ogrom włożonej pracy i analityczne podejście autorki do tematu, a przeprowadzony przegląd literatury w wystarczającym stopniu spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych.

Mam jednak w tej materii dwie uwagi krytyczne. Po pierwsze, autorka niepotrzebnie przytacza niektóre źródła, a pewne opisy literaturowe nie mają znaczenia i nic nie wnoszą w kontekście przeprowadzonych eksperymentów i ich wyników. Do tej „nadmiarowej” i nie do końca potrzebnej części rozprawy zaliczyłbym choćby rys historyczny technik addytywnych (rozdział 1.1), czy opis sposobu pozyskiwania tytanu z minerałów (początek rozdziału 2.1). Te części nie zajmują jednak zbyt dużej części rozprawy, zatem nie jest to duży mankament.

Druga uwaga krytyczna to brak klasycznego podsumowania analizy literatury w sposób krytyczny oraz sformułowania przesłanek do podjętych w rozprawie badań. Autorka częściowo wywiązuje się z tego obowiązku w rozdziale 4, ale opis ten jest nieco za krótki i nie do końca bezpośrednio uzasadnia podjęcie przez autorkę wszystkich zrealizowanych w doktoracie badań, np. badań twardości czy wytrzymałości statycznej na rozciąganie – wyniki tego typu eksperymentów są szeroko dostępne w literaturze, a autorka nie wyjaśnia motywacji ich przeprowadzenia (która powinna wynikać właśnie z literatury).

Uwagi krytyczne nie wpływają jednak na ocenę tej części rozprawy – została ona przeprowadzona w sposób solidny, wnikliwy, analityczny i udowadnia posiadanie przez autorkę odpowiednich umiejętności, posiadanych przez naukowców ze stopniem naukowym doktora, o który ubiega się autorka pracy.

2.2. Poprawność formułowania problemów i hipotez

W pracy nie sformułowano bezpośrednio problemów badawczych. Wynikają one pośrednio z treści analizy literatury, przyjętej tezy pracy oraz sformułowanych celów. Co do celów i zakresu pracy – są one sformułowane generalnie poprawnie, aczkolwiek brakuje podziału na cel główny i cele szczegółowe. W obecnej formie jest to raczej zbiór równorzędnych celów, co nie do końca powinno mieć miejsce (autor rozprawy doktorskiej powinien sformułować jeden cel główny i dążyć do jego realizacji).

Co do hipotez – autorka formułuje hipotezę badawczą, którą nazywa tezą. Nie zgadzam się z tym nazewnictwem – wg wielu definicji, teza to zdanie, założenie, twierdzenie, które jest zawsze prawdziwe niezależnie od uwarunkowań w nim dokonanych, tj. opis obiektywnej prawdy, który można co najwyżej argumentować w odpowiedni sposób. W pracach badawczych stosuje się hipotezy – tj. przypuszczenia, założenia oparte na prawdopodobieństwie, wymagające sprawdzenia. Sformułowana przez autorkę „teza” powinna więc być hipotezą. Dodatkowo nie ma ona głębszej wartości bez podania konkretnych wartości – co oznacza „takich samych lub wyższych (w ujęciu statystycznym) właściwości mechanicznych”? Czy dopuszczamy 1%, 2% czy 10% odchylenia, aby mówić o „takich samych” właściwościach? W mojej opinii, teza/hipoteza nie jest postawiona do końca prawidłowo – myśl przyświecająca jej postawieniu jest właściwa, ale samo sformułowanie jest zbyt ogólne i nieco na siłę. Inaczej rzecz ujmując, gdyby teza w ogóle nie była postawiona – nie zmieniłoby to w ogóle charakteru pracy ani oceny uzyskanej w niej wyników. Być może należałoby się skupić na bardziej szczegółowej definicji celów i problemów w pracy, nie stawiając żadnych hipotez?

Niemniej jednak, pomimo pewnych niejasności i braków, po przeczytaniu rozprawy dość klarownie można wywnioskować jakie problemy zostały w niej podjęte (i rozwiązane) oraz jakie cele miała doktorantka podczas realizacji badań. Zatem należy tutaj – podobnie jak w innych aspektach pracy – przyjąć spełnienie wymagań stawianych w tym zakresie rozprawom doktorskim.

2.3. Trafność doboru metod i narzędzi badawczych, umiejętność ich stosowania

Oceniając rozprawę jako całość, należy stwierdzić że doktorantka dysponuje solidnym warształem w postaci umiejętności planowania i prowadzenia badań materiałowych. Zastosowane metody badawcze są adekwatne, użyta aparatura – właściwa, a planowanie eksperymentów – sensowne i rzetelne. Można by oczywiście wchodzić w szczegóły i polemizować z doбором wykonanych testów, jak również poziomów parametrów procesu, dla których były wykonywane próbki. Jednak należy

stwierdzić, że doktorantka miała swój konkretny zamysł eksperymentów i zrealizowała go – w sposób dokładny, metodyczny i z zachowaniem dbałości o staranność procesu. Z pewnością należy docenić ilość przeprowadzonych prób i staranność w przedstawieniu wszystkich ich wyników – dzięki temu rozprawa może być użyteczna dla kolejnych badaczy podejmujących tę tematykę w przyszłości. Należy także docenić przedstawienie końcowych wyników na wykresach w zestawieniu z wartościami literaturowymi – umożliwia to łatwe porównanie osiągnięć autorki z literaturą i umiejscawia uzyskane wyniki w określonym kontekście.

Do pewnych drobnych mankamentów, nie wpływających na całość oceny rozprawy w tym zakresie, należy zaliczyć na przykład brak pomiaru masy wytworzonych próbek i porównania tej masy z masą próbek typu pręt ciągniony (mogłoby to rzucić światło na kwestie różnic w wytrzymałości), a także brak analizy ekonomicznej wytworzonych próbek (czas wytwarzania, zużycie materiału, koszty przy różnych parametrach procesu DMLS, zestawione z próbkami PC), co zwiększyłoby praktyczną (aplikacyjną) wartość pracy. Brakuje w pracy także podsumowującej wszystkie (lub wybrane) właściwości mechaniczne analizy statystycznej potwierdzającej tezę pracy. Taka analiza pojawiła się dla twardości (tab. 6.4), ale warto było pokusić się o zrobienie całościowej analizy – tj. postawienie hipotezy statystycznej, wybranie i realizacja odpowiedniego testu, a następnie odrzucenie lub przyjęcie hipotezy na danym poziomie istotności. Wówczas można byłoby bardziej szczegółowo mówić o przyjęciu (lub nie) postawionej w rozprawie tezy jako prawdziwej.

2.4. Prawidłowość układu pracy i struktury podziału treści

Układ pracy spełnia podstawowe kryteria tworzenia rozpraw naukowych. Jak wspomniano na początku recenzji, rozprawę podzielono na 7 głównych rozdziałów (poza bibliografią). Są nimi:

1. Wstęp
2. Właściwości stopu tytanu
3. Właściwości stopu Ti6Al4V wykonanego techniką addytywną
4. Teza badawcza, cel i zakres rozprawy
5. Badania doświadczalne
6. Analiza wyników badań
7. Podsumowanie i wnioski

Problemem – w mojej opinii – jest brak trzymania się przez doktorantkę ustandaryzowanej struktury rozpraw naukowych, z czterema głównymi rozdziałami merytorycznymi (przegląd literatury, cele, hipotezy i zakres pracy, metodyka badań własnych, wyniki i ich dyskusja). Największy mój zarzut w tym zakresie dotyczy zmieszania ze sobą treści reprezentujących metodykę oraz wyniki – są one podane równocześnie. Od autorów rozpraw naukowych na poziomie doktoratu powinno wymagać się umiejętności rozdzielenia opisu metodycznego prowadzonych eksperymentów (co zaplanowano, z użyciem jakich materiałów, urządzeń, procesów, z jakimi parametrami, jakie rodzaje wartości /

wyników miał wygenerować dany eksperyment) od opisu ich wyników (tabelki, wykresy, statystyka, obserwacje, fakty już po realizacji eksperymentu) oraz ich dyskusji (doszukiwanie się przyczyn zaobserwowanych zjawisk). Doktorantka z pewnością dysponuje taką umiejętnością, ale w tekście rozprawy nie zostało to uwidocznione – wydaje się, że z powodu pośpiechu w jej przygotowaniu. Pracy brak także klasycznego wprowadzenia do tematu, pozwalającego na zarysowanie w skrócony sposób problematyki rozprawy i jej istotności (jeszcze przed analizą literaturową, na początku pracy). Nie ma także zamykającego całość podsumowania, co w połączeniu z brakiem wstępu rodzi poczucie pewnej niekompletności. W układzie brakuje także kilku mniej istotnych elementów, jak np. spisu rysunków oraz spisu tabel.

Podsumowując – praca zyskałaby na wartości, przejrzystości i miała większy potencjał publikacyjny gdyby w prawidłowy sposób rozdzielić opis części metodycznej od wyników i ich dyskusji, zachowując dbałość w przygotowanych opisach poszczególnych części.

2.5. Uwagi i pytania

Najważniejsze zastrzeżenia, uwagi i pytania przedstawiono poniżej. Nie wymagam uzupełnienia ani poprawy samego tekstu rozprawy – prosiłbym jednak doktorantkę o odniesienie się do uwag w trybie pisemnym.

1. Jaka była motywacja do przeprowadzenia statycznych badań wytrzymałości na rozciąganie oraz twardości? Dlaczego nie można było skorzystać z dostępnych w literaturze wyników takich badań?
2. Proszę o wyjaśnienie eksperymentów, których wyniki przedstawiono w tab. 5.9 oraz na rys. 5.23 i 5.24. Czy było tak, że dla próbek DMLS przeprowadzono badania sterowane odkształceniem, a dla PC – naprężeniem? Skąd ta różnica w podejściu (zamiast zastosowania tej samej metodyki testu dla obu rodzajów próbek)?
3. Proszę o przedstawienie możliwości i scenariuszy zastosowania uzyskanych w rozprawie wyników w praktyce przemysłowej, np. w produkcji wyrobów medycznych.
4. Proszę o próbę wyjaśnienia dlaczego kierunek druku (0° , 45° lub 90°) ma znaczący wpływ na właściwości wytrzymałościowe stopów tytanu wytwarzanych metodą DMLS.
5. Proszę o próbę wyjaśnienia, dlaczego elementy wykonane metodą DMLS mają wyższą twardość oraz wyższą wytrzymałość na rozciąganie niż wykonane z pręta ciągnionego, pomimo zaobserwowanej porowatości i błędów objętości?
6. Czy wystąpiły różnice w masie próbek DMLS i próbek PC, które mogłyby wytłumaczyć uzyskane różnice w testach wytrzymałościowych?

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska niewątpliwie zawiera nową wiedzę uzyskaną w wyniku zaplanowanych i przeprowadzonych przez doktorantkę eksperymentów badawczych, poprzedzonych analizą literaturową. Badania opisane w rozprawie i sposób prowadzenia wywodu naukowego stanowią dobrą podstawę aby uznać, iż doktorantka potrafi skutecznie prowadzić badania naukowe w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, w której aplikuje ona o stopień naukowy doktora.

Zatem w świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa Pani mgr inż. mgr inż. Karoliny Karolewskiej pt. „Analiza właściwości zmęczeniowych elementów ze stopu Ti6Al4V wytworzonych technologią addytywną” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. W związku z tym **wniosuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pani mgr Karoliny Karolewskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Fulw Górn.