



Rzeszów, 10 lipca 2023 r.

Dr hab. inż. Maciej Motyka, prof. ucz.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji KOWALSKIEJ

pt: *Wpływ przetapiania laserowego na strukturę i właściwości warstwy wierzchniej stopu tytanu alfa*

- podstawa opracowania recenzji - pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria  
Materiałowa Politechniki Śląskiej - prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej - z dnia 24.05.2023 r.  
(RDIMa.RMT.512.8.2023)

### Ogólna charakterystyka rozprawy

Konstituowanie warstwy wierzchniej elementów konstrukcji stało się nieodzownym etapem procesów ich wytwarzania, przyczyniając się do znacznego zwiększenia trwałości i zakresu zastosowania. Inżynieria powierzchni zyskała, tym samym, status kluczowej dziedziny inżynierii materiałowej, rozszerzając możliwości kształtowania objętościowego mikrostruktury materiałów metalicznych. Celem zmiany właściwości fizycznych i chemicznych warstwy wierzchniej wyrobów metalowych jest zwykle ochrona przed jej degradacją, np. poprzez poprawę odporności na ścieranie czy korozję. Możliwa jest również funkcjonalizacja powierzchni, zwłaszcza implantów kostnych, zwiększająca, między innymi, ich zdolność do osteointegracji (np. w wyniku naniesienia hydroksyapatytu). Odnosi się to w szczególności do stopów tytanu, których dotyczy recenzowana rozprawa doktorska. Duża wytrzymałość względna i dobra odporność na korozję sprawia, że ich zastosowanie nie jest ograniczone tylko do funkcji biomateriałów - uznawane są za kluczowy materiał lotniczy, z którego wytwarza się elementy konstrukcyjne płatowca, jak również silników turbinowych. Części maszyn ze stopów tytanu niejednokrotnie wymagają poprawy właściwości tribologicznych, co uzyskuje się zwykle w procesie azotowania dyfuzyjnego bądź nakładania powłoki TiN (np. metodą jonowo-plazmową). Metody te, zaliczane do konwencjonalnych, mogą niekorzystnie oddziaływać na właściwości mechaniczne materiału podłoża - zwiększać kruchość stopów tytanu, w wyniku dużej ich skłonności do nawodorowania. Uzasadnione więc są działania inżynierów materiałowych w zakresie opracowania efektywnej technologii umożliwiającej wytworzenie warstwy o dobrych właściwościach tribologicznych, bez pogorszenia właściwości użytkowych podłoża. Jedną z nich jest niewątpliwie obróbka laserowa powierzchni. Polega zwykle na przetapianiu strefy przypowierzchniowej, bądź jej stopowaniu, połączonym ze zmianą składu

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 11.07.2023  
2023/07/11 RMT/512/2023  
nr.....zał.



chemicznego i mikrostruktury warstwy wierzchniej. Fazami umacniającymi, w przypadku stopowania laserowego, są najczęściej azotki lub węgliki tytanu.

Modyfikacja warstwy wierzchniej stopów tytanu z użyciem lasera rozwijana jest od kilkadziesiąt lat, gruntując jej pozycję wśród metod uzyskiwania dużej odporności na zużycie ślizgowe, ściernie i erozyjne warstwy wierzchniej elementów konstrukcji. Mimo to, potencjał tej technologii wydaje się nie w pełni wykorzystany, czego dowodzi chociażby tematyka recenzowanej dysertacji.

Praca doktorska pt.: *Wpływ przetapiania laserowego na strukturę i właściwości warstwy wierzchniej stopu tytanu alfa* dotyczy zagadnień przetapiania laserowego w ciekłym azocie wybranego stopu tytanu. Przyjęto założenie, że warunki kriogeniczne spowodują intensyfikację procesu odprowadzenia ciepła, co umożliwi uzyskanie jednorodnej, drobnoziarnistej mikrostruktury warstwy wierzchniej, a tym samym unikatowych jej właściwości użytkowych. Zrealizowany plan badawczy obejmował przetapianie laserowe stopu tytanu, zdefiniowanego jako jednofazowy  $\alpha$ , w wybranych warunkach procesu, a także scharakteryzowanie wytworzonych warstw wierzchnich w zakresie struktury geometrycznej ich powierzchni, składu chemicznego i fazowego, mikrostruktury, twardości oraz odporności na korozję. W mojej ocenie, dla opracowania zamierzonej charakterystyki warstw przyjęto adekwatny zakres badań, choć już dobór konkretnych metod wzbudził moje wątpliwości (wyrażone w dalszej części recenzji). Obrane cele badawcze podzielono na naukowy - pozwalający na ocenę wpływu modyfikacji warstwy wierzchniej stopu tytanu na jej skład fazowy, mikrostrukturę i właściwości fizyczne użytkowe oraz aplikacyjny - umożliwiający dobór warunków zapewniających największą efektywność stosowanej technologii.

Wstępna ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Kowalskiej pozwala mi stwierdzić, że jej tematyka wpisuje się w aktualne trendy inżynierii materiałowej. Autorka zdefiniowała problemy badawcze i podjęła się ich rozwiązania w sposób typowy dla prac badawczych z obszaru inżynierii materiałowej. Uzyskała wyniki o charakterze poznawczym i aplikacyjnym, choć moim zdaniem, poddane zbyt powierzchownej analizie.

#### Szczegółowa ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Patrycji Kowalskiej pt. *Wpływ przetapiania laserowego na strukturę i właściwości warstwy wierzchniej stopu tytanu alfa* stanowi opracowanie naukowe o charakterze zwartym, napisane w języku polskim. Swoją strukturą nawiązuje do klasycznych dysertacji naukowych obejmujących studium literatury z zakresu tematyki pracy oraz prezentację wyników badań własnych. Treść rozprawy podzielono na 9 rozdziałów, uzupełnionych o spisy tabel (14) i rysunków (128), bibliografię (158), wykaz norm oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Całość zawarto na 200 stronach.

Część pierwszą rozprawy - 1. *ANALIZA STANU ZAGADNIN LENIA* - stanowią rozdziały 1-4 dotyczące charakterystyki tytanu i jego stopów, znaczenia warstwy wierzchniej, metod jej badania oraz technik laserowych. Niestety Doktorantka nie ustrzegła się błędów z zakresu podstaw



metaloznawstwa, szczególnie w rozdziale 1. - Tytan i jego stopy. Zwrot „lytan może występować w dwóch sieciach krystalicznych ..”, (str. 7) jest co najmniej niefortunny. Chodzi oczywiście o odmiany alotropowe Tia i Tip, a nie — jak twierdzi Autorka - fazy a i p, które są roztworami stałymi na osnowie tych odmian. Kolejnym uchybieniem (na tej samej stronie) jest stwierdzenie, że tytan może mieć morfologię iglastą lub równoosiową — domyślam się, że Autorce chodziło o krystality tytanu. Ponadto zależności krystalograficzne przemiany alotropowej, przedstawione w równaniu (1), są niekompletne i błędne. Pozostając w tematyce przemian fazowych, chciałbym zwrócić uwagę Doktorantce, że zapis przemiany fazowej „p-\*a” nie jest w zgodzie z teorią przemian fazowych w warunkach równowagi termodynamicznej i prosiłbym Ją o wyjaśnienie. Nagminne jest również zamienne stosowanie terminów „struktura” i „mikrostruktura”. Opis obróbki cieplnej stopów tytanu również budzi wiele wątpliwości. Stwierdzenie „wyżarzanie rekrytalizujące i odprężające - stosowane szczególnie po zgnioście w temperaturze 700-800°C” (str. 12) ma znaczenie inne od zamierzonego (jak mniemam). Hartowanie przedstawiono jako proces prowadzący do rozdrobnienia ziam, podczas gdy w jego trakcie zachodzi zmiana składu fazowego (przemiana martenzytyczna). Te i inne nieścisłości zauważone w tekście, których nie będę przytaczał, wskazują na brak biegłości jego Autorki w zagadnieniach metaloznawstwa, szczególnie stopów tytanu. Opis problematyki z zakresu technologii warstwy wierzchniej, metod jej badania oraz technik laserowych, stanowiący treść rozdziałów 2-4, opracowano na lepszym poziomie. Nie jest jednak wolny od dyskusyjnych sformułowań, jak np. „Badania morfologii powierzchni” (str. 37), której parametrem jest „szeroko pojęty skład chemiczny, czyli czystość obiektu” (?). Zwróciłbym również uwagę Doktorantce, że mimo badawczego charakteru prowadzonych prac, niektóre użyte metody instrumentalne zdecydowanie mają charakter pomiarów - np. twardości czy składu chemicznego.

W podsumowaniu tej części pracy stwierdzani, że przeprowadzone studium literatury obejmuje zagadnienia dotyczące problematyki badań podjętych przez Doktorantkę i zarysowuje ich tło. Uważam jednak, że w niewystarczającym stopniu wyjaśniono celowość prowadzenia przetapiania laserowego w warunkach kriogenicznych - co według mnie stanowi o oryginalności przeprowadzonych badań i powinno być zasygnalizowane już w samym tytule dysertacji.

W części II rozprawy doktorskiej przedstawiono cel pracy. Przytoczono również powszechnie znaną z literatury tezę dotyczącą możliwości wytworzenia twardej warstwy wierzchniej stopów tytanu w wyniku przetapiania laserowego, na podstawie której sformułowano własną - bardzo podobną. Myślę, że tak postawiona teza budziłaby znacznie mniej wątpliwości gdyby poparto ją odpowiednimi założeniami, wynikającymi z wyboru określonej metody przetapiania i konkretnego stopu tytanu, do którego odniosę się jeszcze w dalszej części recenzji. Niemniej jednak cel i zakres pracy został zdefiniowany. Problemów badawczych natomiast nie doprecyzowano, co w mojej ocenie nadaje tej pracy bardziej technologiczny charakter.



W rozdziale 5. scharakteryzowano materiał do badań. Metodami spektrometrycznymi ustalono, że jego skład chemiczny odpowiada rosyjskiemu gatunkowi VT20. Jeżeli się z tym zgodzić, to względnie łatwo sprawdzić, że nie należy do grupy stopów a, tylko pseudo-a, które Autorka opisuje w rozdziale 1.4 swojej rozprawy. Ma to fundamentalne znaczenie dla podjętej tematyki, ponieważ stwarza możliwość występowania fazy p w mikrostrukturze tego stopu, czego nie uwzględniono w dalszej części pracy - w analizie wyników badań własnych. Brak w pracy informacji na temat pochodzenia materiału do badań nie uważam za znaczące uchybienie, zastanawia mnie tylko jak z blachy o grubości 10 mm wycięto próbkę o grubości 15 mm?

Rozdział 6. wyczerpująco opisuje metodykę przyjętych badań i pomiarów. W formie tabeli (tab. 6, str. 65) przedstawiono warunki zastosowanego przetapiania laserowego, ograniczając jej opis jedynie do powtórzenia jej podpisu w tekście pracy. Nie przedstawiono jednak kryteriów, według których warunki te zostały dobrane - prosiłbym Doktorantkę o komentarz w tej kwestii. Wątpliwości mam również do opisu metodyki badań odporności na korozję, jak również uzyskanych wyników - do czego odniosę się później. Nie mogę zgodzić się, że „potencjał korozyjny mierzono jako SEM ogniwa” (str. 71). Siła elektromotoryczna ogniwa (SEM) charakteryzuje układ w stanie równowagi, a korozja nie jest procesem równowagowym. Próbka nie jest również anodą - w warunkach potencjału obwodu otwartego (OCP) anody i katody zlokalizowane są na jej powierzchni (tworzą się ogniwa korozyjne). Prosiłbym o odniesienie się do tych rozbieżności. Proszę również o wyjaśnienie co Autorka rozumie pod pojęciami „morfologia i struktura powierzchni badanych materiałów” (str. 72), pomijając fakt, że do badań przyjęto jeden materiał.

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w rozdziale 7. Zwraca uwagę duża oszczędność Doktorantki w ich opisie. Uwzględniając w swojej ocenie fakt, że omówienie wyników badań stanowi treść kolejnego rozdziału, muszę jednak krytycznie odnieść się do przyjętej, lakonicznej formy opisów - chociażby „topografii powierzchni warstwy wierzchniej” (rodz. 7.1), w którym omawiane jest zabarwienie próbek przetapianych laserowo i obecność „zafalowań” powierzchni. Już same podpisy rysunków budzą wiele wątpliwości - „Widok makroskopowy z mikroskopu stereoskopowego” (rys. 22 i 23). Zdanie „Dokładniejsze obserwacje stanu powierzchni przetapianych warstw (rys. 24-32) wykonano przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego dla próbek 7, 11, 22, 23 o najlepszej jakości powierzchni (gładkość, brak pęknięć, połysk)” (str. 73) rozbudza u czytelnika pewne nadzieje otrzymania bardziej szczegółowych informacji, jednak dalsze treści przedstawione w tym rozdziale ich nie dostarczają. Bez komentarza pozostawiono obrazy SEM topografii przetopionej laserowo powierzchni badanego stopu (rys. 29) odpowiadającej mikrostrukturze martenzytycznej.

W podrozdziale 7.2 przedstawiono mikrostrukturę badanego materiału (nazwanego „wyjściowym”). Zgadzam się z Doktorantką, że złożonej z fazy a (konkretnie płytek tej fazy), jednak czy tylko? - prosiłbym o komentarz. Mikrostrukturze warstwy przetopionej poświęcono natomiast miejsce



w podrozdziale 7.3. Przedstawione obrazy makrostruktury uzyskane metodami mikroskopii świetlnej i skaningowej elektronowej nie dostarczają zbyt wielu istotnych informacji na jej temat, niemniej jednak umożliwiły, jak mi nie mam, określenie rozmiarów stref przetopienia i wpływu ciepła (tab. 8). Mikrostrukturę warstwy przetopionej przedstawiono na obrazach wykonanych metodą SEM (rys. 45-52), które opatrzone jedynie opisem „Szczegóły budowy mikrostruktury powstałej warstwy wierzchniej przedstawiono na przykładzie próbek 7, 11, 22, 23 ...” (str. 92) - ponownie przemilczając iglastą morfologię składników fazowych.

W podrozdziale 7.4 przedstawiono wyniki analizy składu chemicznego w mikroobszarach metodą spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS). Większą ich część zajmują widma spektroskopowe, które niewiele wnoszą do analizy uzyskanych wyników. Natomiast zawartość zidentyfikowanych pierwiastków stopowych, stanowiących istotę tych pomiarów, przedstawiono bez podania jednostek.

Kolejny podrozdział - 7.5 - przedstawia obrazy TEM mikrostruktury badanego stopu tytanu. Opis tych wyników badań, przedstawionych na 12 stronach, ogranicza się jedynie do stwierdzeń „... w przypadku wszystkich próbek płytkową jednofazową mikrostrukturę stopu tytanu ... Analiza fazowa przeprowadzona metodą SAED ujawniła występowanie fazy a o strukturze heksagonalnej zwartej (HZ)” (str. 108). Nawiązując do wspomnianej przeze mnie kwestii możliwości występowania w mikrostrukturze tego stopu faz martenzytycznych, chciałbym zapytać Doktorantkę czy wie, że faza a' posiada taką samą strukturę krystaliczną jak faza a? Mimo oszczędnego omówienia obrazów mikrostruktury, wprawny inżynier materiałowy mógłby pozyskać dodatkowe informacje z zamieszczonych dyfraktogramów SAED. Niestety niepoprawnie je zindeksowano - chcę wierzyć, że przez niedbałość, bo zakładam, że Doktorantka zna sposób wskaźnikowania płaszczyzn sieciowych w układzie heksagonalnym i wie, że od każdej z nich tworzą się inne refleksy na dyfraktogramie (w pracy sąsiednie refleksy opisane są tymi samymi wskaźnikami).

Przedstawione w dalszej części pracy wyniki pomiarów twardości (rodz. 7.6) są zgodne z oczekiwanymi. Zamieszczono także wyniki pomiarów chropowatości (rodz. 7.7) oraz badań tribologicznych (rodz. 7.8). Stwierdzono zmniejszenie wartości współczynnika tarcia warstw przetopionych laserowo względem materiału podłoża. Zmianę rozmiaru ziarn w wyniku obróbki laserowej oceniono z użyciem zależności Sherrera, w której znaczenie parametru  $D$  zdefiniowano jako „wymiar ziarn” (równanie (3)) - proszę o wyjaśnienie. Wyznaczone wartości wskazują na istotne rozdrobnienie ziarn w wyniku przetapiania laserowego, choć przyznaję, że nie mam pewności jakiej fazy. Który rozmiar krystalitów wyraża przedstawiona w tabeli 12 „wielkość ziarn”, jeżeli uwzględnimy ich płytkową morfologię?

Jednoznacznym potwierdzeniem składu fazowego badanego stopu, przed i po przetapianiu laserowym, powinny być wyniki badań dyfraktometrycznych XRD. Zamiast tego, dostarczają kolejnych wątpliwości. Doktorantka niepoprawnie, w mojej ocenie, zidentyfikowała płaszczyzn fazy a, od których pochodzą refleksy na dyfraktogramach przedstawionych w podrozdziale 7.10 -





konsekwentnie posługując się niewłaściwym sposobem wskaźnikowania płaszczyzn krystalicznych. Wnioskowanie utworzenia fazy © w wyniku przetapiania laserowego też jest dyskusyjne - proszę o przedstawienie przesłanek, które mogłyby uzasadnić takie oczekiwania dla badanego stopu.

Wynikom analizy składu chemicznego metodą XPS warstw przetopionych laserowo poświęcono aż 27 stron (rozdz. 7.11). Ich użyteczność jednak można sprowadzić do stwierdzenia przez Autorkę, że „badana powierzchnia zawierała szereg zanieczyszczeń”, w tym >50 %at. węgla (rys. 91) - prosiłbym o skomentowanie tego wyniku - a także potwierdzenia obecności w przetopionych warstwach TiN oraz tlenków tytanu TiO<sub>2</sub> oraz Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Jedną z przyjętych do scharakteryzowania właściwości użytkowych wytworzonych warstw na podłożu badanego stopu tytanu była ich odporność na korozję elektrochemiczną. Przedstawione w podrozdziale 7.12 wyniki badań w tym zakresie, z zastosowaniem ekstrapolacji prostych metodą Tafela, poddają w wątpliwość jej wybór. W metodzie tej jest wymagane, żeby reakcje elektrochemiczne były kontrolowane aktywacyjnie - tzn. że etapem określającym szybkości reakcji anodowej i katodowej jest przeniesienie ładunku przez granicę międzyfazową elektroda/elektrolit. W badanych warunkach szybkość reakcji katodowej jest prawdopodobnie determinowana szybkością dyfuzji tlenu do powierzchni (w metodyce nie podano szczegółów eksperymentu - np. czy roztwór był odtleniony, mieszany itd.), natomiast anodowej obecnością warstwy tlenkowej. Konsekwencją tego jest dyskusyjna interpretacja wyników - np. skorelowanie wartości OCP w czasie z intensywnością przebiegu procesów korozyjnych, podczas gdy jej zwiększanie może być związane z narastaniem warstwy tlenkowej. Doktorantka nie ustrzegła się błędów w opracowaniu wykresów z użyciem oprogramowania Excel - mam wątpliwości czy na osi X wykresów na rys. 113-117 podano rzeczywiście czas czy numery komórek arkusza kalkulacyjnego. Zastanawiają również wartości potencjału na osiach wykresów przedstawiających krzywe potencjodynamiczne (rys. 118-122), nie mówiąc już o osi Y, która powinna reprezentować gęstość prądu, a nie natężenie. Określone wartości potencjału korozyjnego i gęstości prądu korozji przedstawiono w tabeli, choć zastanawiające jest jak w przypadku krzywej na rys. 119 dopasowano linię prostą, nie komentując względnie dużych różnic pomiędzy nimi. Według mnie potwierdza to tylko niepoprawny wybór metody badawczej.

Względem rozdziału 8. - *Omówienie wyników badań* - miałem duże oczekiwania, zważywszy na brak stosownych komentarzy przy ich prezentacji w rozdziale wcześniejszym. Znalazłem, między innymi, odniesienie się Autorki rozprawy do kwestii możliwości tworzenia martenzytu w badanym stopie tytanu, które jednak definitywnie odrzuca - „... stop jednofazowy a pod wpływem nagrzewania i szybkiego chłodzenia nie podlega hartowaniu-na strukturę a’ W stopach pseudo-a, a nawet w tytanie technicznym, możliwe jest zajście przemiany martenzytycznej (<https://doi.org/10.1007/s11661-004-0052-5>).

Dalsze omówienie wyników prowadzone jest na niskim poziomie naukowym - dotyczy zabarwienia powierzchni i jej topografii, składu fazowego materiału podłoża i warstw, a także



właściwości tribologicznych i odporności na korozję. Jest niczym innym jak powtórzeniem spostrzeżeń sformułowanych w rozdziale wcześniejszym. Brakuje mi także jakiegokolwiek odniesienia się do dostępnych w literaturze specjalistycznej wyników badań dotyczących przetapiania laserowego, chociażby innych stopów tytanu. W wielu przypadkach efektem przetapiania laserowego jest tworzenie mikrostruktury dendrytycznej, czego Autorka rozprawy nie stwierdziła po zastosowaniu warunków kriogenicznych. Wiele prac badawczych dotyczy tworzenia się fazy TiN w warstwie wierzchniej stopów tytanu przetopionej laserowo w strumieniu azotu - jest to kolejny, istotny aspekt do porównania. Myślę, że wiele innych aspektów naukowych można było uwzględnić, co znacząco zwiększyłoby znaczenie uzyskanych wyników badań i poziom naukowy pracy. A tak, co z przykrością stwierdzam, przedstawiona w dysertacji prezentacja wyników badań ma raczej charakter raportu technicznego.

Część badawczą recenzowanej rozprawy doktorskiej wieńczy rozdział 9. - *Podsumowanie i wnioski*. Sformułowane wnioski są zbyt ogólne. Stwierdza się np., że „Dobrano parametry przetapiania laserowego pozwalającego na uzyskanie warstwy wierzchniej bez mikropęknięć o małej chropowatości” i nie podano żadnych wartości, ani chociażby nr próbki, dla której efekt zastosowanej obróbki laserowej był najlepszy. Wydaje mi się to istotne, szczególnie że wstęp do pracy puentuje akapit „Ostatecznym dowodem osiągnięcia celu pracy byłoby praktyczne zastosowanie opracowanej technologii w odniesieniu do konkretnych wyrobów ze stopów tytanu” (str. 6). W ostatnim wniosku pada stwierdzenie, że postawiona w niej teza została udowodniona, z czym mogę się zgodzić, mimo zastrzeżeń dotyczących treści przedstawionych w tym, jak i we wcześniejszych rozdziałach rozpraw}’.

Abstrahując od wartości merytorycznej opiniowanej rozprawy doktorskiej, jej formalną i edytorską stronę uznaję za akceptowalną. Dostrzeżone uchybienia w tym zakresie nie uważam za kluczowe dla ogólnej oceny dysertacji. Chciałbym przytoczyć Doktorantce kilka z nich, żeby strąła się ich unikać opracowując kolejne teksty naukowe. Sugeruję, między innymi, nie stosować niejasnych czy dyskusyjnych sformułowań, jak np.:

- „niska gęstość” - poprawnie jest „mała gęstość” (str.4),
- „Czysty tytan techniczny” - to czysty czy techniczny? (str. 8),
- „martenzyt tytanowy” (str. 13) oraz „materiały tytanowe” - wydaje mi się, że uwaga nie wymaga mojego komentarza (str. 17),
- „Badania powierzchni mikrostruktury warstwy' wierzchniej” - bardzo zawile i tak naprawdę nie wiadomo co znaczy (str. 61, rys. 17),
- „% masy” - ogólnie przyjętym skrótem jednostki stężenia pierwiastków jest „% mas.” (str. 62),
- „Zgłady metalograficzne przeznaczone do badań mikrostruktury” - truizm (str. 67),
- „... Badania ... mikrostruktury na TEM”? - poprawniej jest „metodą TEM” (str. 70).



Podsumowując przeprowadzoną ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Kowalskiej mogę stwierdzić, że zaplanowane i przeprowadzone przez nią badania pozwoliły na osiągnięcie założonych celów badawczych i potwierdzenie przyjętej tezy. Sposób prowadzenia dyskusji wyników stanowi, w mojej ocenie, najłagodniejszą stronę opiniowanej dysertacji. Autorka nie ustrzegła się błędów w zakresie przedstawiania i interpretacji wyników swoich badań, których można było uniknąć uważnie studiując literaturę naukową z zakresu podjętej tematyki, a także zasięgając opinii specjalistów z zakresu inżynierii materiałowej, których w Politechnice Śląskiej nie brakuje. Zapewnienie odpowiedniego poziomu naukowego rozprawy doktorskiej jest również rolą jej promotora. Niedociągnięcia w opracowaniu tej części dysertacji, w moim odczuciu, znacząco obniżają jej wartość merytoryczną. Mimo to, dostrzegam osiągnięcia Doktorantki, wynikające z realizacji pracy doktorskiej, z których za najważniejsze uznaję potwierdzenie skuteczności przetapiania laserowego w warunkach kriogenicznych badanego stopu tytanu, a także innych gatunków, jak przypuszczam. Ponadto, zawarty w rozprawie zbiór wyników stanowi punkt odniesienia dla dalszych badań w tym zakresie, przyczyniając się do rozwoju i upowszechnienia technologii laserowych w obróbce powierzchni wyrobów ze stopów tytanu. Wydaje mi się, że na podkreślenie zasługuje duży nakład pracy Doktorantki w realizację badań własnych i względnie szeroki ich zakres. Uważam, że potwierdziła swój całkiem dobry warsztat badawczy, mimo zastrzeżeń, które wielokrotnie wyrażałem w tej recenzji.

### Ocena końcowa

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Patrycji Kowalskiej zatytułowana *Wpływ przetapiania laserowego na strukturę i właściwości warstwy wierzchniej stopu tytanu alfa*, według mojej wiedzy, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, który niestety nie został jednoznacznie w niej zdefiniowany. Jest efektem realizacji zaplanowanych prac badawczych, których cele zostały osiągnięte. Autorka uzyskała całkiem obszerny zbiór wyników o charakterze poznawczym i technologicznym, choć jak wykazywałem wcześniej, poddanych lakonicznej i niejednokrotnie dyskusyjnej analizie. Przyznaję, że stanowiło to istotny czynnik obniżający moją ocenę poziomu naukowego dysertacji. Uwzględniając jednak inne jej aspekty, które oceniam pozytywnie, stwierdzam, że spełnia w stopniu dostatecznym wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Jednocześnie wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr inż. Patrycji Kowalskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.