

prof. dr hab. Andrzej Posmyk
Wydział Transportu
Politechniki Śląskiej

Recenzja pracy doktorskiej pani mgr inż. **Moniki Krzywickiej** pt. „**Właściwości użytkowe stopu tytanu poddanego laserowemu teksturowaniu powierzchni**” opracowana na zlecenie Rady Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach z dnia 29.10.2018.

1. Charakterystyka pracy

Recenzowana praca dotyczy laserowego teksturowania warstw powierzchniowych wybranych stopów tytanu przeznaczonych do wytwarzania endoprotez stawu kolanowego. Wybrane przez Autorkę tworzywa konstrukcyjne i warunki modyfikowania warstw powierzchniowych pozwoliły na opis zależności wybranych właściwości użytkowych skojarzenia PE-UHMW/TiAl6Nb7 od parametrów procesu wytwarzania. Podjęta przez Autorkę tematyka stanowi bardzo ważne zagadnienie w aspekcie zarówno naukowym, technologicznym jak i utylitarnym, ze względu na wydłużający się średni czas życia ludzi i zwiększone przez aktywność zawodową obciążenia ruchowe skutkujące schorzeniami stawów. Dlatego podjęcie tematyki w recenzowanej pracy jest celowe i zapewnia uzyskanie wiedzy teoretycznej i praktycznej.

Recenzowana praca zawiera 144 strony i składa się z części literaturowej oraz badawczej, w których zamieszczono 124 rysunki i 32 tabele. Zamieszczona bibliografia zawiera 151 pozycji, z czego 87 zagranicznych, oraz 12 pozycji wydanych w ciągu ostatnich 4 lat (od 2015). Większość cytowanej literatury pochodzi z czasopism, o zasięgu światowym, specjalistycznych z inżynierii powierzchni (np. Surface and Coatings Technology) i tribologii (Tribology International, Tribologia), którym to zagadnieniom jest poświęcona recenzowana praca doktorska. Taki zestaw literatury gwarantuje, że w pracy opisano aktualny stan wiedzy z kraju i zagranicy.

Pracę rozpoczyna *Wprowadzenie* zawierające krótkie uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy i omówienie jej zawartości.

Rozdział pierwszy pt. *Zastosowanie inżynierii powierzchni w kształtowaniu właściwości stopów tytanu* zawiera informacje nt. właściwości biomateriałów tytanowych i możliwości kształtowania ich właściwości z wykorzystaniem inżynierii powierzchni. Opisano wybrane przez Autorkę grupy metod kształtowania właściwości stopów tytanu, tj. chemiczne i elektrochemiczne, fizyczne oraz inne, w tym laserowe.

W rozdziale 2 pt. *Endoprotezoplastyka stawu kolanowego* Autorka przedstawiła podstawowe informacje z zakresu klasyfikacji endoprotez stawu kolanowego, materiałów stosowanych na endoprotezy główki kości i panewki oraz korozji stosowanych materiałów.

W rozdziale 3 pt. *Zagadnienia tribologiczne występujące w naturalnym i sztucznym stawie* Autorka przedstawiła podstawowe informacje z zakresu tarcia i zużycia w stawie ludzkim, oraz badań tarcia i zużycia endoprotez.

W rozdziale 4 pt. *Cele i tezy pracy zawarto* dwa cele pracy, zakres pracy i tezy pracy. Moim zdaniem, to co Autorka nazwała zakresem pracy jest planem badań. Dlatego to powinno znaleźć się w innej części pracy. Niezrozumiała jest część tezy brzmiąca „*przeprowadzenie laserowego teksturowania powierzchni stopu tytanu powoduje zmianę parametrów elektrochemicznych.*”

W rozdziale 5. pt. *Laserowe teksturowanie powierzchni stopu tytanu* Autorka przedstawiła przedmiot badań, plan eksperymentu, budowę stanowiska użytego do badań, dobór warunków laserowej modyfikacji warstw powierzchniowych badanego stopu, analizę skutków obróbki, wpływ gazu osłonowego na cechy geometryczne powierzchni i skład chemiczny warstwy powierzchniowej oraz wnioski (które są podsumowaniem).

W rozdziale 6. pt. *Właściwości stopu tytanu poddanego mikroobróbce laserowej* Autorka przedstawiła wyniki badań własnych, w tym tribologicznych, korozyjnych i adhezyjnych badanego stopu po obróbce laserowej oraz badań właściwości warstwy granicznej, nazwanej biofilmem, utworzonej na stopie po obróbce.

Każdy z podrozdziałów został zakończony wnioskami (które są podsumowaniem).

W rozdziale 7. pt. *Podsumowanie* zawarto podsumowanie z dodatkiem streszczenia. Brakuje przywołania wartości uzyskanych z pomiarów i odniesienia do obecnego stanu techniki.

2. Uwagi ogólne

2.1. Praca zawiera ogromny wkład Autorki w wykonanie tak szerokiego zakresu badań, jaki został zrealizowany. Praca zawiera dużo interesujących mikrofotografii obrabianych materiałów, co może stanowić źródło wiedzy na ten temat i wkład Autorki w rozwój tej dziedziny nauki.

2.2. Podstawowym mankamentem tej pracy jest brak dogłębnej analizy merytorycznej uzyskanych wyników, polegającej na próbie udzielenia odpowiedzi na pytanie, dlaczego uzyskane wyniki są takie jakie są. Taka analiza powinna stanowić osobny rozdział i zostać wsparta analizą statystyczną. Niestety, analiza statystyczna stanowi znaczną część pracy, a analizy merytorycznej brak.

W części literaturowej pracy napisano „*Wartość współczynnika tarcia dla endoprotez stawu kolanowego (metalowopolimerowych) waha się od 0,1 do 0,15 [59]. Współczynnik tarcia w zdrowym stawie wynosi 0,005 – 0,01 [86]. W celu zmniejszenia wartości współczynnika tarcia podejmowane są różne próby modyfikacji warstwy wierzchniej lub nanoszenia powłok na materiały trące.*”

Z badań własnych Doktorantki wynika, że po wykonanej laserowej modyfikacji warstw powierzchniowych stopów tytanu współczynnik tarcia wynosił od 0,08 do 0,2. To wymaga ustosunkowania się Autorki do wartości uzyskanych wyników, tj. skomentowania, w jakim zakresie czynników sterowanych uzyskano wartości lepsze ($\mu=0,08$) niż dotychczas ($\mu=0,1$). Można było też pokusić się o optymalizację procesu modyfikacji.

Nie podano też istotnej dla pacjenta informacji nt. prognozowanej trwałości skojarzeń wynikającej z intensywności zużywania oraz odporności korozyjnej.

- 2.3. W pracy brakuje uzasadnienia wyboru warunków laserowej obróbki stopów tytanu, oraz informacji dlaczego podczas badań stosowano różne stopnie pokrycia powierzchni stopów „wglębieniami”.
- 2.4. Doktorantka używała w całej pracy w dość „luźny sposób” terminologii technicznej. Przykłady zostały zawarte w uwagach szczegółowych.
- 2.5. Praca przed oddaniem powinna zostać sprawa wdzona przez polonistę.
- 2.6. Podczas recenzowania pracy nie przeprowadzałem merytorycznej analizy zagadnień tribologicznych i korozyjnych występujących w naturalnym stawie ponieważ nie dysponuję wiedzą z tego zakresu.

Uwzględniając powyższe uwagi, proszę Autorkę o przedstawienie podczas obrony uzasadnień wyboru warunków obróbki oraz próby wyjaśnienia uzyskanych wyników.

3. Uwagi szczegółowe

3.1. Rysunek 1.3. Jakie są jednostki oporu polaryzacji?

Szyk wyrazów w zdaniu w stronie biernej jest niewłaściwy, np. „Tytan odporny jest (powinno być jest odporny) także na działanie kwasu azotowego o dowolnym stężeniu i w różnych temperaturach, stopionej siarki, siarkowodoru, dwutlenku siarki, amoniaku i nadtlenu wodoru [112].”

3.2. Str. 16.: „1.2.1. Chemiczne i elektrochemiczne metody modyfikowania powierzchni biomateriałów tytanowych”

Tytuł tego podrozdziału (i kolejnych jest niepoprawny), ponieważ opisane metody modyfikacji nie ograniczają się do powierzchni, lecz sięgają na określoną głębokość. Dlatego lepiej byłoby użyć określenia „modyfikowania warstw powierzchniowych”, co Autorka uczyniła w pierwszym zdaniu podrozdziału 1.2.3.

3.3. Str. 18. „W ostatnim okresie obserwuje się rozwój metody IBAD (Ion Beam Assisted Deposition), która pozwala na uzyskanie warstw złożonych z kilku pierwiastków powierzchniowych o bardzo małej chropowatości.

„Wytwarzane tą metodą warstwy ze względu na dobrą adhezję do podłoża i obecność szerokiej międzywarstwy cechuje dobra podatność na odkształcenia [135].”

Co to są „pierwiastki powierzchniowe o małej chropowatości”? Co to jest „szeroka międzywarstwa”?

3.4. Str. 19: „Powłoki o grubości 20 – 50 μm zapewniają poprawę wydajności implantów we wczesnym stadium po implantacji.”

Co to jest wydajność implantów?

3.5. Str. 20: „Technologia laserowa stosowana jest także do wytwarzania tekstur powierzchniowych.”

Czy można wytwarzać teksturę?

3.6. Str. 21: „Technologia stopowania laserowego, jako metoda obróbki cieplno-chemicznej, może być realizowana poprzez azotowanie.”

Czy stopowanie laserowe może być realizowane przez azotowanie?

„Zastosowanie mikroobróbki laserowej pozwala uniknąć tworzenia się zanieczyszczeń, jest łatwiejsze w sterowaniu, precyzyjniejsze, zmniejszona jest strefa wpływu ciepła, wokół po-

jedynczych elementów tekstury tworzy się niewielka, koncentryczna strefa osadzania się odparowywanego materiału [5, 10, 32, 46, 52, 131].

Czy zanieczyszczenia mogą się tworzyć?

3.7. Str. 22: *„być źródłem efektów hydrodynamicznych (efekt mikrokлина smarnego)”*

Czy prędkości względne pozwalają na to?

3.8. Str.: 25: Tytuł podrozdziału 1.3. Wnioski nie odpowiada jego zawartości. To nie są wnioski, lecz jest to podsumowanie.

„Wytwarzanie warstw wierzchnich i powłok na biomateriałach tytanowych umożliwia eliminację zjawiska metalozy i zapewnia: zwiększenie odporności na zużycie przez tarcie, wysoką odporność na korozję oraz wymagane właściwości biologiczne.

Czy można wytwarzać warstwę wierzchnią?

„Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury można wnioskować, że zagłębienia kołowe lub owalne o dużym stopniu pokrycia najkorzystniej wpływają na poprawę właściwości tribologicznych.

To jest niezgodne z definicją „stopnia pokrycia”

3.9. Str. 29: *„Elementy endoprotez w przeciwieństwie do naturalnych tkanek nie posiadają zdolności adaptacji do przenoszonych obciążeń i cechują się gorszą smarowalnością.*

Nie jest mi wiadomo, żeby termin smarowalność był używany w tribologii, eksploatacji maszyn i inżynierii materiałowej.

„dobrymi właściwościami mechanicznymi, w tym: odpornością na zużycie przez tarcie, wytrzymałością zmęczeniową, wytrzymałością na rozciąganie, plastycznością,”

Co to jest „dobra wytrzymałość na rozciąganie”?

„Endoprotezy poddawane są działaniu zmiennych obciążeń, co w połączeniu z agresywnym środowiskiem fizjologicznym powoduje powstawanie procesów zmęczeniowych, korozyjnych i zużycia w wyniku tarcia.”

Według mnie zużycie skojarzeń, rozumiane jako zmiana właściwości nadanych obiektowi na etapie wytwarzania, jest superpozycją działania obciążeń mechanicznych (odkształcenia plastyczne, zmiana struktury, teksturowanie) i cieplnych (odpuszczanie, hartowanie), oddziaływań chemicznych (zużywanie przez utlenianie) oraz tarcia.

3.10. Str. 31: *„Przeżywalność protez wynosi 95% w ciągu 10 lat i 80 – 85% w ciągu 15 lat. Szacuje się, że 5 – 10% niepowodzeń spowodowanych jest błędami w technice operacyjnej lub niezależnymi od chirurga powikłaniami.”*

Co to jest „przeżywalność protez”?

Może to jest trwałość, rozumiana jako średni czas poprawnej pracy obiektu w określonych warunkach?

3.11. Podrozdziały

2.4.1. *Septyczne i aseptyczne obluzowania endoprotez*

2.4.2. *Korozja w organizmie człowieka*

powinny zawierać informacje o zachowaniu się w opisywanym środowisku wybranego przez Autorkę stopu tytanu.

3.12. Str. 34. Podrozdział 2.5. Wnioski powinien zostać nazwany 2.5. Podsumowanie

3.13. Str. 37.: „Podrez-Radziszewska i in. [98] także uznali, że najczęściej objawiającym się mechanizmem niszczenia było powstawanie uszkodzeń charakteryzujących się licznymi zarysowaniami oraz przypadkami wbijania produktów zużycia w powierzchnię nośną wkładki [98].”

Co Autorka rozumie pod pojęciem „uszkodzenie”?

3.14. Str. 41.: „przeprowadzenie laserowego teksturowania powierzchni stopu tytanu powoduje zmianę parametrów elektrochemicznych,”

To jest niezrozumiałe. ..powoduje zmianę parametrów elektrochemicznych.. Czego?

3.15. Str. 42.: „Program ten służy do określenia zależności parametrów wejściowych tu wybranych jako Sp i hp od parametrów wyjściowych, którymi mają być wskaźniki tarcia, korozji i adhezji. Poznanie tych zależności w rezultacie pozwoli wybrać najbardziej korzystne parametry Sp i hp . Tabela 5.1 przedstawia zbiór parametrów zmiennych programu badań wg $PS/DS-P:\lambda$.

To chyba jest nie tak. Zazwyczaj bada się wpływ czynników sterowanych/niezależnych (przez Autorkę nazwanych wejściowymi) na czynniki zależne/wyjściowe. W metodyce badań doświadczalnych zależność np. topografii powierzchni od warunków laserowego teksturowania nazywa się funkcją konstytuowania, a zależność współczynnika tarcia od warunków wytwarzania nazywa się funkcją eksploatacji.

3.16. Str. 43.: tabela 5.1.

„Wartości wejściowe standaryzowane (wartości unormowane)”

Według MBD, to są czynniki sterowane w skali unormowanej. Można też napisać „Wartości standaryzowane wielkości wejściowych”.

„Wartości wejściowe rzeczywiste jako funkcje wielkości standaryzowanych”

Według MBD, to są czynniki sterowane w skali rzeczywistej.

3.17. Str. 56.: „Zastosowanie nadmuchu argonu umożliwiło usunięcie z drążonego wgłębie-
nia materiału stopionego, który mógł nie ulec odparowaniu.

Jakie były parametry strumienia argonu?

„Kształt elementów wytworzonych bez osłony gazu jest bardziej nieregularny, widoczne są liczne otwory o różnych średnicach spowodowane działaniem wiązki lasera (rys. 5.14).”

Co jest miarą nieregularności? Czy badano cechy stereologiczne?

„W wyniku szybkiego krzepnięcia powstała struktura dendrytyczna widoczna na wewnętrznych fragmentach wytworzonych wgłębień.”

Na którym rysunku?

3.18. Str. 57.: „Analiza badań mikroskopowych wykazała,..”

To nie analiza badań mikroskopowych, lecz analiza wyników badań mikroskopowych wykazała.

Na czym polegała ta analiza?

- 3.19. Str. 59.: „Wyższe głębokości otrzymano stosując częstotliwość 100 kHz i krotność skanowania wiązką lasera od 5 do 35.”

Co to jest wyższa głębokość?

Tabela 5.3. Brakuje informacji nt. liczności próby pomiarowej, odchylenia standardowego oraz dokładności narzędzia pomiarowego. To utrudnia ocenę wyników.

- 3.20. Str. 62.: „Ilość fazy β ujawnionej mikrostruktury oszacowano na podstawie otrzymanych zdjęć LM w postaci cyfrowej, za pomocą programu ImagePro Plus, ver. 4.5 (Media Cybernetics, USA).”

Podano nazwy oprogramowania i producenta oraz kraj, ale nie podano istotnych dla oceny uzyskanych wyników informacji, tj. jaka jest dokładność metody i na ilu polach dokonano „oszacowania”?

- 3.21. Str. 63.: „Na rysunku 5.27 zamieszczono widok mikrostruktury materiału na przekroju poprzecznym, wykonanym w pobliżu wykonanego zagłębienia. W otoczeniu zagłębienia nie obserwuje się zmian mikrostruktury.”

Jak rozumieć sformułowanie „nie obserwuje się zmian struktury”?

Może miało być..nie zaobserwowano zmian struktury?

- 3.22. Strony 65-68.:

Na podstawie analizy rentgenowskiej próbek teksturowanych w osłonie argonu w miejscu nie poddanym obróbce (miedzy kraterkami) stwierdzono 11% zawartości tlenu (rys. 5.32), a bez argonu 3% (rys. 5.30).

Jakie jest wyjaśnienie tych zawartości?

- 3.23. Str. 70.: „Badania mikrotwardości prowadzono od krawędzi wytworzonego zagłębienia o głębokości 15,69 μm do krawędzi sąsiedniego zagłębienia o takiej samej głębokości.

Nie badania, lecz pomiary.

- 3.24. Str. 71.: „Na rysunku 5.34 przedstawiono wykres ramka-wąsy mikrotwardości HV0,05 stopu Ti6Al7Nb poddanego mikroobróbce laserowej.

Co to jest „wykres ramka-wąsy”?

To jest Zależność twardości od odległości....

- 3.25. Str. 72. W rozdziale „5.4.7. Wnioski” jest zawarte krótkie podsumowanie wyników, a nie wnioski.

- 3.26. Str. 74.: „6.1.1. Materiał i metodyka badań na testerze typu T-09

To nie jest „metodyka badań”, lecz są to warunki badań.

Według *Małego słownika języka polskiego* „metodyka badań naukowych jest to nauka obejmująca zespół zasad prowadzenia badań”.

Nie podano uzasadnienia doboru warunków badań.

Proszę Autorkę o uzasadnienie podczas obrony.

- 3.27. Str. 76.: Zawarte w tabeli 1 wyniki dla Lp. 10-13 są identyczne. Dlaczego?

Z czego wyliczono „średnią trymowaną” siły tarcia?

- 3.28. Str. 77.: W zestawieniu brakuje wartości sił tarcia, co utrudnia interpretację wyników.

„Na podstawie przeprowadzonych obserwacji mikroskopowych stwierdzono, że głównym mechanizmem zużycia było zużycie ściernie, dla którego charakterystyczny jest ubytek materiału spowodowany rysowaniem.”

Na czym polega „ubytek materiału spowodowany rysowaniem”?

3.29. Str. 78.: Na rysunku 6.2. według opisu jest widok powierzchni próbki wykonanej z PE-UHMW. Czy to jest na pewno to? Wszystkie rysunki wymagają opisów. Autorka wie co na nich jest, ale czytelnik niekoniecznie.

3.30. Str. 81.: *„Rys. 6.7. Widok powierzchni przeciwpróbki na której wytworzono tekstury o stopniu pokrycia 44,14% i głębokości 67,31 μm po biegu badawczym a) część środkowa, b) brzeg”*

Wypadałoby dodać schemat i zaznaczyć, o który „brzeg” chodzi.

3.31. Str. 83.: *„Na rysunku 6.10 przedstawiono przykładowy wykres rejestrujący bieg badawczy.”*

Czy wykres może „rejestrować bieg badawczy”?

3.32. Str. 84.: *„Rys. 6.10. Wykres przebiegu zmienności siły tarcia w zależności od czasu dla przeciwpróbki na powierzchni której wytworzono tekstury o stopniu pokrycia 44,14% i głębokości 15,69 μm ”*

Podpis jest niejasny. Lepiej byłoby: Zależność siły tarcia od czasu współpracy skojarzenia z przeciwpróbką tytanową o stopniu pokrycia 44,14% i głębokości wgłębienia 15,69 μm

Na rysunku 6.10. oś czasu zawiera kosmiczne liczby zamiast ilości minut współpracy. Wystarczy podać co drugą wartość.

3.33. Strony 84-87:

Zamieszczone wyniki analizy statystycznej nie wnoszą wiele do pracy. Wystarczy podać równanie, współczynniki korelacji i poziom istotności oraz czy równanie adekwatnie opisuje badane zależności.

3.34. Str. 88.: W podrozdziale 6.1.4. *Materiał i metodyka (zła nazwa) badań na testerze typu T-17* nie podano uzasadnienia dlaczego użyto drugiego testera oraz nie podano uzasadnienia wyboru warunków badań.

3.35. Str. 90.: *„Do analizy przyjęto wartości średnie, które obliczono pomijając wartości odstające w sposób wyraźny od pozostałych.”*

O jakiej analizie mowa, ponieważ w tabeli są wyniki z 3 testów i średnia.

„Badania tribologiczne pokazały, że największe opory tarcia wykazała para trąca w której na powierzchni płytek wytworzono teksturę o stopniu pokrycia 10% i głębokości pojedynczego elementu 5 μm przy $\mu = 0,1823$.”

Jeżeli μ jest współczynnikiem tarcia, to jaka jest dokładność toru pomiarowego siły tarcia i obliczeń współczynnika tarcia? Od tego zależy liczba miejsc po przecinku.

3.36. Str. 92.: *„Rys. 6.15. Przebieg zmienności zużycia liniowego w funkcji ilości cykli dla par trących w których na powierzchni płytek wytworzono teksturę o głębokości pojedyncze-*

go elementu: a) 5 μm i stopniu pokrycia 50%, nr 3, b) 5 μm i stopniu pokrycia 10%, nr 2, c) 78 μm i stopniu pokrycia 10%, nr 2

Czego to jest zużycie, polietylenu, czy stopu tytanu?

- 3.37. Str. 99: W tabeli 6.7. podano wartości zmierzonych wielkości, budzące moją wątpliwość, bez żadnego komentarza.

Wybrane przykłady zestawiono poniżej.

Stopień pokrycia	23,3333	Odch. st.	23,09401
Zużycie wagowe PE-UHMW	0,0021		0,00136
Współczynnik intens. zuż.	142,9067		63,89218
Głębokość	29,3333		42,14657

W jakich warunkach wykonywano opisywane badania, skoro odchylenie standardowe stanowi kilkadziesiąt procent wartości mierzonej, a dla głębokości nawet 140%. Dla czego głębokość i współczynnik tarcia są podane dwukrotnie?

Proszę Autorkę o wyjaśnienie tego podczas obrony.

- 3.38. Str. 108.: *Przyjęto następujące wartości stałych swobodnej energii powierzchniowej (SEP) cieczy pomiarowych oraz jej składowych – polarnej i dyspersyjnej: $\gamma_w = 72,8$ [mJ/m²], $\gamma_{pw} = 51,0$ [mJ/m²], $\gamma_{dw} = 21,8$ [mJ/m²], $\gamma_d = 50,8$ [mJ/m²], $\gamma_{pd} = 2,3$ [mJ/m²], $\gamma_{dd} = 48,5$ [mJ/m²].*

Na jakiej podstawie i z czego zaczerpnięto te wartości?

- 3.39. Str.113: „Rys. 6.31. „Wykres przewidywanych względem wartości resztowych”
Co to znaczy?

- 3.40. Str. 115: „Równanie regresji wielorakiej ma postać:

$$\theta_w = 92,41 - 0,31 \times \text{Stopień pokrycia} - 0,20 \times \text{Głębokość} \pm 4,73''$$

Gdzie jest koniec tego zdania?

Jest to niespotykany zapis równania.

Proponuję wprowadzić oznaczenia zamiast wyrazów.

Sytuacja została powtórzona na stronach 119, 122.

Jakie są jednostki w tych równaniach?

Czy równania są w skali unormowanej, czy rzeczywistej?

- 3.41. Str. 122: „Rys. 6.39. Wykres powierzchniowy 3W – SEP względem stopnia pokrycia i głębokości pojedynczego elementu tekstury”

To jest zależność SEP od...

3. Ocena końcowa pracy

Podjęty w recenzowanej pracy doktorskiej temat jest aktualny, ponieważ coraz więcej ludzi, ze względu na wydłużony czas życia i zwiększoną aktywność fizyczną ma problemy ze zużytymi w wyniku długotrwałej eksploatacji, często na skutek chorób, stawami. Autorka dokonała analizy obszernej literatury dotyczącej tematu, w wyniku której stwierdziła, że w dostępnych opracowaniach brakuje badań związków przyczynowo-skutkowych między warunkami modyfikowania lub obróbki warstw powierzchniowych stopów tytanu używanych do wytwarzania implantów a ich właściwościami użytkowymi. W celu sprawdzenia słuszności postawionych tez opracowała program badań, zrealizowała go, a wyniki udokumentowane dużą ilością mikrofotografii i wykresów oraz poparte analizą statystyczną przedstawiła w pra-

cy. W ten sposób udowodniła, że potrafi dokonać analizy zagadnienia, formułować tezy, opracować program badań, dobrać metody i narzędzia badawcze, posługiwać się analizą statystyczną, przez co spełnia ustawowe wymagania stawiane kandydatom na stopień doktora nauk technicznych.

4. Wniosek końcowy

Opiniowana praca doktorska pt. „**Właściwości użytkowe stopu tytanu poddanego laserowemu teksturowaniu powierzchni**” pani mgr inż. **Moniki Krzywickiej** spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim (Ustawa z dnia 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym) i na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie pani mgr inż. Moniki Krzywickiej do publicznej obrony rozprawy przed Radą Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.

Andrzej Posmyk

