

**POLITECHNIKA RZESZOWSKA im. Ignacego Łukasiewicza**

**WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I LOTNICTWA**

**Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji**

**dr hab. inż. Witold HABRAT prof. PRz**

profesor uczelni w grupie pracowników badawczo-  
dydaktycznych

al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

tel. (17) 865 14 91

e mail: witekhab@prz.edu.pl

Rzeszów, 29.01.2021 r.

## Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Kamila Leksyckiego pt.

**„Badanie wybranych wskaźników skrawalności i właściwości użytkowych  
materiałów stosowanych na wyroby medyczne”**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Pani dr hab. inż. Justyny Patalas-Maliszewskiej, prof. UZ, Dyrektor Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego z dnia 30.11.2020 r. (znak pisma IIM/D/172/2020). Ocena rozprawy została opracowana w oparciu o art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669), zgodnie z wymogami określonymi 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.

### 1 Charakterystyka podjętej tematyki badawczej oraz celu i zakresu pracy

Zastosowanie nowoczesnych materiałów na wyroby medyczne wiąże się z koniecznością badań związanych z efektywnym ich kształtowaniem. Efektywne wytwarzanie jest istotnym elementem zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw produkujących wyroby medyczne przy uwzględnieniu aspektów ekonomicznych, społecznych i ekologicznych. Taka produkcja powinna uwzględniać wszystkie wymiary zrównoważonego rozwoju, w tym m.in. oszczędność energii i zasobów

naturalnych, kosztochłonność przy uzyskaniu określonych wskaźników jakościowych wyrobów, minimalizację negatywnych skutków dla środowiska oraz bezpieczeństwo dla pracowników i użytkowników wyrobów.

Zagadnienie efektywnego kształtowania materiałów staje się jeszcze bardziej złożone w przypadku materiałów o szczególnym przeznaczeniu, jak to ma miejsce w przypadku materiałów stosowanych na wyroby medyczne. Obecnie stosuje się szereg tego typu materiałów charakteryzujących się m.in. odpowiednią wytrzymałością mechaniczną, wytrzymałością zmęczeniową oraz odpornością na korozję. Właściwości materiałów, które decydują o ich funkcjonalności i korzyściach eksploatacyjnych, ograniczają jednocześnie możliwość efektywnego ich kształtowania. W obszarze wytwarzania części o dużych wymaganiach jakościowych w zakresie dokładności wymiarowo-kształtowej i topografii powierzchni dominującą rolę odgrywa obróbka skrawaniem.

Badania wskaźników skrawalności określające cechy technologiczne materiału obrabianego są podstawowym kierunkiem zwiększenia efektywności obróbki skrawaniem. W tym zakresie można wyróżnić badania ukierunkowane na mechanikę procesu skrawania (w tym analizę i modelowanie sił w procesie skrawania oraz formowanie wióra), zużycie i trwałość ostrza oraz stan technologicznej warstwy wierzchniej ze szczególnym uwzględnieniem kształtowania topografii powierzchni. Topografia powierzchni oraz parametry chropowatości stanowią nie tylko istotne wskaźniki do oceny jakości procesu obróbki, ale również decydują o właściwościach użytkowych wytwarzanych wyrobów.

Przedmiotem recenzowanej pracy doktorskiej była analiza wybranych wskaźników skrawalności i właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne, po toczeniu wykończeniowym w warunkach obróbki na sucho, chłodzenia metodą zalewową oraz z zastosowaniem metody MQL. Do badań wytypowano stop tytanu Ti-6Al-4V oraz stале nierdzewne X2CrNiMo17-12-2 i X5CrNiCuNb16-4, które są szeroko stosowane w produkcji wyrobów medycznych.

W tym kontekście zakres merytoryczny recenzowanej pracy doktorskiej należy ocenić jako niezwykle istotny. Potwierdza to trafność i sensowność podjętej tematyki badawczej, która doskonale wpisuje się w aktualny zakres ogólnościatowych badań naukowych. Uzyskane wyniki pracy mogą mieć istotne znaczenie naukowe i użytkitarne, zarówno w zakresie badań wskaźników skrawalności, jak również w zakresie efektywnej produkcji wyrobów medycznych.

Tytuł pracy jest zgodny z podjętą tematyką badawczą oraz treścią pracy. Cel pracy podany na str. 61, odnoszący się do określenia warunków toczenia wykończeniowego wybranych materiałów o przeznaczeniu medycznym, które zapewniają korzystne właściwości użytkowe produkowanych wyrobów, należy uznać za trafny i jasno sprecyzowany. Na tej samej stronie Doktorant sformułował dwie tezy pracy, które zasadniczo są poprawne. Zwróciłbym jednak uwagę, że w przypadku tezy 1 pojęcie

„struktura geometryczna powierzchni obrabianej” wchodzi w zakres „wskaźników skrawalności”, a w przypadku tezy 2 sugerowałbym zamianę frazy „zapewniających najlepsze właściwości użytkowe” na „zapewniających odpowiednie właściwości użytkowe”.

Przyjęty zakres pracy jest spójny i ściśle powiązany z tematem dysertacji. Został przedstawiony w sposób wyczerpujący, zarówno w formie opisu jak i schematu graficznego. Na podkreślenie zasługuje logiczny podział badań w zakresie wskaźników jakościowych i użytkowych. Ułatwia to analizę zarówno w zakresie analizy stanu wiedzy, jak i badań własnych Doktoranta.

## 2 Zakres i ocena poszczególnych części realizowanej pracy

Dysertacja została zrealizowana na Uniwersytecie Zielonogórskim w Katedrze Materiałoznawstwa, Technologii i Eksploatacji Maszyn, pod opieką naukową prof. Eugene Feldsteina. Pracownicy tej Katedry znani są ze znaczącego dorobku o zasięgu międzynarodowym w zakresie badań procesów obróbki skrawaniem w różnych warunkach chłodzenia i smarowania. **Strukturę rozprawy** stanowi wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, wstęp, sześć numerowanych rozdziałów, podsumowanie i wnioski końcowe oraz literatura. W pracy zawarto również streszczenie w języku polskim i angielskim. Układ pracy jest prawidłowy - typowy dla tego typu prac eksperymentalnych.

We wstępie do pracy Autor w sposób spójny uzasadnił genezę podjętej tematyki badawczej i w sposób przystępny scharakteryzował konieczność badań w zakresie kształtowania materiałów stosowanych na wyroby medyczne, definiując przy tym to pojęcie. W tym miejscu chciałbym jedynie zasugerować Doktorantowi, aby starał się unikać skumulowanych odwołań literaturowych. W dalszej części pracy ten problem już nie występuje.

W pierwszym rozdziale Autor przedstawił aktualny stan wiedzy na temat wybranych wskaźników skrawalności, w tym kształtowania wióra, sił skrawania, parametrów struktury geometrycznej powierzchni oraz właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne. Uwzględnił przy tym właściwości tribologiczne i odporność korozyjną tytanu i jego stopów oraz stali nierdzewnych.

Przedstawiona analiza jest wnikliwa i odnosi się do aktualnych źródeł literaturowych. Stanowi podstawę do określenia obszaru badań własnych Autora. Sformułowano w niej czytelnie wnioski z podziałem na stan wiedzy o wskaźnikach skrawalności i właściwościach użytkowych. W tej części występuje kilka drobnych błędów o charakterze redakcyjnym:

- str. 13 - Autor napisał „W literaturze amerykańskiej ...” odnosząc się do literatury anglojęzycznej,

- str. 15 - Autor napisał „Element A ...” - bardziej trafne byłoby „Obszar A ...”,

- str. 15 - niefortunny zwrot „przebywania przedmiotu”,

- str. 39 - niefortunny zwrot „... skrawalność (...) jest bardzo skomplikowana ...”.

- str. 40 - zamiast „operacji szczepienia” powinno być „operacji wszczepienia”

- sugeruję, aby w przypadku odwołań do rysunków opracowanych na podstawie innych publikacji np. rys. 1.11 stosować zapis typu „(na podstawie [168])”.

Zawartość merytoryczna rozdziału jest logiczna, choć mam drobne uwagi szczegółowe:

- *Na początku rozdziału 1 (str. 13) Autor przedstawił trzy definicje skrawalności. Która z tych definicji wg Autora jest najbardziej adekwatna do podejścia prezentowanego w pracy?*
- *Str. 49, pierwszy akapit – Autor odnosi się do parametru chropowatości  $R_a$  nie komentując, w wyniku jakiej obróbki został on uzyskany.*

W rozdziale drugim został określony cel pracy, tezy naukowe oraz zakres badań. Ocenę tej części przedstawiono we wcześniejszym punkcie recenzji.

W rozdziale trzecim scharakteryzowane zostały materiały wytypowane do badań oraz przedstawiono warunki i szczegółowy zakres badań. Ponadto wyszczególniono stanowiska badawcze i zastosowany osprzęt pomiarowy, a także uzasadniono wybór metody eksperymentu. Zakres materiałów przyjętych do badań uważam za trafny. Ponadto wytypowanie jednego narzędzia dla całego zakresu badań pozwoliło na porównanie wybranych wskaźników jakościowych. Do drobnych błędów o charakterze redakcyjnym tej części pracy można zaliczyć:

- podanie w tabl. 3 dwukrotnie normy ISO 3146,

- str. 70 - powinno być „...obróbka na sucho jest korzystna ...”,

- str. 74 - zamiast „szyty” powinno być „szczyty”.

Rozdział trzeci bardzo spójnie prezentuje metodykę i warunki badań, pozostaje jednak kilka szczegółowych kwestii do dyskusji:

- *Szkoda, że w podrozdziale 3.2.2 nie przedstawiono tabelarycznego zestawienia warunków chłodzenia.*
- *Należałoby bardziej szczegółowo uzasadnić przyjęty zakres parametrów skrawania zaprezentowany w tabl. 3.5.*
- *Uzasadniając wybór metody PSI należałoby wspomnieć również o ograniczeniach tej metody planowania eksperymentu.*

W rozdziale czwartym Autor przedstawił analizę zjawisk fizykalnych przy toczeniu badanych materiałów. Określił przy tym wpływ parametrów skrawania i warunków chłodzenia na kształtowanie wióra oraz składowe siły skrawania. Całość badań była realizowana podczas toczenia wykończeniowego badanych materiałów w szerokim zakresie parametrów skrawania, co przełożyło się na znaczącą liczbę wyników. W tym miejscu trzeba jednak pochwalić Doktoranta, gdyż duża ilość danych nie utrudnia przeglądu pracy, a wręcz przeciwnie, pozwala na wnikliwą analizę tematu. Prezentacja rezultatów badań jest na bardzo wysokim poziomie - oprócz graficznej prezentacji wyników pomiarów, zawsze jest zestawienie przedstawiające zmiany procentowe określonego wskaźnika jakościowego względem przyjętego odniesienia. Oczywiście można byłoby jeszcze wprowadzić jednakowe skalowanie dla wykresów oraz wprowadzić w podpisach oznaczeń dla wszystkich parametrów (nie tylko wielkości mierzonych, ale również nastawnych), jednak są to drobne sugestie do uwzględnienia w dalszej pracy naukowej.

Reasumując, przeprowadzona w tej części pracy analiza danych jest bardzo szeroka i prezentuje wysoką jakość, pozostaje jednak kilka kwestii do doprecyzowania i uzasadnienia:

- *Brak jest statystycznych wskaźników określających jakość dopasowania powierzchni określonych przedstawionymi modelami.*
- *Czy przeprowadzono analizę istotności wpływu wielkości wejściowych na określone wskaźniki jakościowe?*
- *Porównując średnie wartości składowych siły całkowitej (str. 106), jak można uzasadnić zmniejszenie ich wartości podczas obróbki „na sucho”?*

W rozdziale piątym określono wpływ warunków toczenia na parametry amplitudowe struktury geometrycznej powierzchni obrobionej, topografie 3D powierzchni, krzywe udziału materiałowego i izotropowość struktury geometrycznej powierzchni przedmiotu obrabianego po toczeniu wykończeniowym. Zasadniczo rozdział ten pod względem układu i struktury powiązany jest z rozdziałem czwartym i część uwag w tym zakresie jest taka sama. Pod względem merytorycznym ten rozdział również jest spójny, logiczny i opracowany na bardzo wysokim poziomie. Wnioski dotyczące kształtowania struktury geometrycznej powierzchni mają swoje uzasadnienie w treści, choć w kilku miejscach Autor powinien spróbować lepiej uzasadnić uzyskane wyniki. W zakresie tego rozdziału pozostają dwie kwestie do bardziej szczegółowego odniesienia przez Doktoranta:

- *Proszę uzasadnić wybór parametrów amplitudowych chropowatości  $S_a$  i  $S_z$ .*
- *Jak uzasadnić występowanie ekstremum lokalnego na rys. 5.13 a (pkt 6 na wykresie).*

**Rozdział szósty** prezentuje analizę wskaźników użytkowych badanych materiałów. W połączeniu z rozdziałami czwartym i piątym decyduje on w głównej mierze o oryginalności dysertacji. Przeprowadzono w nim badania dotyczące wpływu warunków chłodzenia podczas obróbki skrawaniem i uzyskanej topografii powierzchni obrobionej na właściwości tribologiczne oraz odporność korozyjną i bioaktywność powierzchni badanych materiałów. Należy podkreślić, że nie było tak kompleksowego ujęcia tego zagadnienia w odniesieniu do badanych materiałów na wyroby medyczne. Autor określił m.in. wpływ środka smarnego na właściwości odpowiednich par trących, procentowe zmiany parametrów chropowatości dla różnych materiałów podczas testów tribologicznych oraz wpływ materiału i topografii powierzchni na odporność korozyjną warstwy wierzchniej.

Dysertacja kończy się **podsumowaniem i ważniejszymi wnioskami końcowymi**, w których wykazano prawidłowość postawionych tez pracy, przedstawiono zalecenia dotyczące warunków toczenia wykończeniowego stopów tytanu i stali nierdzewnych oraz rekomendacje w celu uzyskania korzystnych właściwości tribologicznych i bioaktywności.

Wnioski sformułowane na końcu pracy są uzasadnione przeprowadzonymi badaniami i mają istotne znaczenie praktyczne. Sugeruję, aby w przyszłości Autor skupił się na lepszym fizycznym lub modelowym uzasadnieniu trendów pojawiających się w wynikach. W tym kontekście recenzowana dysertacja ma jeszcze duży potencjał poznawczy.

**Literatura** zamieszczona w pracy jest aktualna i obszerna. Doktorant odwołuje się do 231 pozycji, z których w jednej jest autorem a w 10 współautorem.

### **3 Ogólna ocena pracy**

Doktorant podjął się złożonego zagadnienia kompleksowej analizy doświadczalnej wpływu parametrów skrawania podczas toczenia wykończeniowego, w różnych warunkach chłodzenia, stopu tytanu Ti6Al4V i stali nierdzewnych X2CrNiMo17-12-2 i X5CrNiCuNb16-4 przeznaczonych na wyroby medyczne, na wskaźniki skrawalności oraz znalezienia zależności pomiędzy parametrami topografii powierzchni obrobionych a właściwościami użytkowymi.

Należy zaznaczyć, że bez wątplenia **cel rozprawy został osiągnięty** a merytoryczna część pracy jest na bardzo wysokim poziomie.

Na podkreślenie zasługuje również **znaczący dorobek publikacyjny Doktoranta**, w tym współautorstwo kilku publikacji w renomowanych czasopismach z zakresu metrologii czy tribologii.



Pod względem edytorskim praca napisana jest poprawnym językiem a sformułowane zdania nie stwarzają problemów z płynnością czytania i analizy. Zamieszczone w pracy rysunki wykonane są z należytą starannością i mają swoje uzasadnienie w tekście. Pewne drobne błędy stylistyczne, literowe czy redakcyjne nie umniejszają jakości dysertacji. Nie mogą więc stanowić podstawy do kwestionowania wartości pracy. Pod względem metodologii prowadzenia badań rozprawa jest poprawna. Literatura jest aktualna i dobrana zgodnie z tematem pracy. Układ rozprawy i podział treści między poszczególnymi rozdziałami jest logiczny. Autor zasadniczo posługuje się właściwymi pojęciami.

Z przedstawionej powyżej oceny poszczególnych części dysertacji wynika, że praca jest oryginalna, logiczna i spójna merytorycznie. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną i umiejętnościami w prowadzeniu badań naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Przedstawiona powyżej ocena potwierdza oryginalność przedstawionego w pracy zagadnienia naukowego.

#### **4 Wniosek końcowy**

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Leksyckiego pt. „Badanie wybranych wskaźników skrawalności i właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne”, w sposób znaczący przyczynia się do poszerzenia wiedzy w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, a przede wszystkim w zakresie zależności pomiędzy parametrami topografii powierzchni obrobionych materiałów stosowanych na wyroby medyczne a ich właściwościami użytkowymi, co przyczynia się do rozwoju technologii produkcji tej grupy wyrobów. Wniosuję tym samym o jej wyróżnienie.

Stwierdzam, działając w oparciu o art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1669), że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Kamila Leksyckiego pt. „Badanie wybranych wskaźników skrawalności i właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne”, spełnia wymogi 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 i dyscyplinie inżynieria mechaniczna wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 lipca 2018 r.

W związku z tym wniosuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kamila Leksyckiego i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

