

**Recenzja nr 02/dr/SJW**

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Leksyckiego pt. *Badanie wybranych wskaźników skrawalności i właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne***

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dyrektorki Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego dr hab. inż. Justyny Patalas-Maliszewskiej, nr IIM/D/471/2020 z dnia 30.11.2020 i stosowna umowa o dzieło.

**1. Tematyka rozprawy**

W ujęciu ogólnym, tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy badań doświadczalnych wskaźników skrawalności, takich jak składowe siły całkowitej, współczynnik śpęczenia oraz kształt wióra, a także pewnych parametrów struktury geometrycznej powierzchni w odniesieniu do wybranych materiałów stosowanych na wyroby medyczne, takich jak stop tytanu Ti6Al4V, oraz stале nierdzewne X2CrNiMo17-12-2 i X5CrNiCuNb16-4. Ponadto praca obejmuje badania i ocenę wskaźników użytkowych badanych materiałów, takich jak właściwości tribologiczne, odporność korozyjna oraz bioaktywność. Pomimo faktu, iż tematyka dotycząca oceny skrawalności zróżnicowanych materiałów konstrukcyjnych była na przełomie kilkudziesięciu ostatnich lat przedmiotem licznych badań i publikacji, aktualność i oryginalność tematu podjętego przez mgr. inż. Kamila Leksyckiego nie budzi wątpliwości. W tym miejscu należy podkreślić, że istotnym novum podjętej tematyki jest ocena związków pomiędzy warunkami i parametrami procesu toczenia, oraz właściwościami badanych materiałów, a uzyskanymi wskaźnikami użytkowymi obrobionych materiałów stosowanych w medycynie, takimi jak odporność korozyjna i bioaktywność. Na dodatek, przeprowadzone próby toczenia zostały przeprowadzone m. in. w warunkach minimalnego smarowania/chłodzenia, co stanowi aktualny trend rozwojowy proekologicznej obróbki skrawaniem. W związku z powyższym, podjęta przez mgr. inż. Kamila Leksyckiego tematyka wypełnia lukę w obszarze kształtowania użytkowego wyrobów stosowanych w inżynierii biomedycznej, skupiając się na opracowaniu związków pomiędzy warunkami obróbki i właściwościami eksploatacyjnymi tych materiałów oraz doborze efektywnych parametrów obróbki wpływających na poprawę właściwości użytkowych materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne.

Podsumowując, podjętą tematykę rozprawy uważam za nowatorską i bardzo ważną w aspekcie pragmatycznym, a w ten sposób oceniam jak najbardziej pozytywnie.

## 2. Ogólna ocena treści, układu i zakresu rozprawy

Rozprawa liczy 179 stron i składa się z 6 zasadniczych rozdziałów oraz wstępu, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, spisu literatury obejmującego 231 pozycji oraz streszczeń w języku polskim i angielskim.

W rozdziale wprowadzającym, Autor rozprawy charakteryzuje właściwości materiałów biomedycznych oraz definiuje pojęcie skrawalności, a następnie wskazuje przedmiot zrealizowanych badań.

W rozdziale pierwszym rozprawy, Autor przedstawia aktualny stan zagadnienia w oparciu o wyniki prac różnych badaczy. W pierwszej części tego rozdziału omawia szczegółowo pojęcie skrawalności. W podrozdziale 1.1.2 przedstawia zagadnienia dotyczące mechanizmów formowania wióra. W mojej opinii charakterystyka ta została przeprowadzona w sposób prawidłowy, jednakże przedstawia tylko najprostszy model formowania wióra z pojedynczą płaszczyzną poślizgu. Dlatego też w celu kompleksowego przedstawienia problemu mogłaby być uzupełniona również o bardziej złożone modele formowania wiórów takie jak modele tworzenia wiórów segmentowych, model ze zlokalizowaną strefą ścinania adiabatycznego oraz model dyslokacyjny. Dodatkowo, bardziej wartościowym byłoby przedstawienie na rysunku 1.4 danych eksperymentalnych dotyczących wpływu parametrów skrawania na współczynnik spęczania np. stopu tytanu lub stali nierdzewnej zamiast modelowej zależności z podręcznika dotyczącego obróbki skrawaniem. W kolejnym podrozdziale 1.3 Autor charakteryzuje składowe siły całkowitej w procesie skrawania. W niniejszym rozdziale przytoczono wiele zależności pomiędzy parametrami wejściowymi procesu, a wygenerowanymi siłami na bazie najnowszych publikacji naukowych, co podkreśla aktualność przeglądu literatury. Niemniej jednak w mojej opinii warto byłoby przedstawić na wykresach zależności pomiędzy różnymi parametrami wejściowymi procesu, a składowymi siłami całkowitej podczas skrawania materiałów stosowanych w inżynierii biomedycznej, a nie jedynie zależności modelowych. Na dodatek, w rozdziale zabrakło rozważań analitycznych dotyczących wpływu stosowania smarowania i chłodzenia na wygenerowane w obróbce siły (np. związek pomiędzy cieczami obróbkowymi, a współczynnikiem tarcia na powierzchni natarcia i przyłożenia, wpływ zmiany temperatury podczas skrawania na uplastycznienie materiału obrabianego i dekohezję, itp.). W zamian Autor raportuje jedynie w sposób ilościowy związki pomiędzy zmianami wartości składowych siły całkowitej, a warunkami chłodzenia/smarowania podczas obróbki. Następnym podrozdział 1.1.4 dotyczy analizy struktury geometrycznej powierzchni po skrawaniu. Podrozdział jest napisany poprawnie i przedstawia dyskusję wyników z wielu badań opublikowanych w literaturze zagranicznej. Pewien niedosyt pozostawia jednak zbyt mało szczegółowy opis zależności analitycznych pomiędzy parametrami wejściowymi procesu (np. promień zaokrąglenia głównej krawędzi skrawającej, błędy geometryczne układu OUPN) i zjawiskami towarzyszącymi obróbce (drżania), a ukonstytuowaną strukturą geometryczną obrobionej powierzchni. W kolejnym podrozdziale przedstawiono aktualny stan zagadnienia dotyczący właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne. Podrozdział ten został napisany kompleksowo, obejmując tak istotne aspekty jak właściwości tribologiczne oraz odporność na korozję. Ponadto charakteryzuje również zjawiska występujące w procesie tarcia endoprotezy stawu biodrowego oraz mechanizm uszkodzenia warstwy tlenków w wyniku tarcia pary trącej metal-polimer. W mojej opinii charakterystyka tych

zagadnień została przeprowadzona prawidłowo, stanowiąc duży wkład w opracowany przegląd literatury.

Podsumowując rozdział 1 rozprawy mogę stwierdzić, że Autor w sposób wyczerpujący i interesujący dla czytelnika przedstawił ocenę właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne. Niemniej jednak problematyka dotycząca mechaniki skrawania materiałów stosowanych na wyroby medyczne, mogłaby być przedstawiona bardziej szczegółowo, zwłaszcza, że w literaturze znaleźć można bardzo wiele prac ukazujących modele składowych siły całkowitej i chropowatości powierzchni, uwzględniające dużą liczbę parametrów wejściowych i zjawisk towarzyszących obróbce.

W rozdziale 2 pracy, Autor sformułował cel, 2 tezy i zakres pracy. W mojej opinii cel i tezy pracy zostały sprecyzowane szczegółowo, jednoznacznie i nietrywialnie. W rozdziale tym Autor sformułował także w bardzo przejrzysty sposób schemat graficzny przeprowadzonych badań własnych.

Następny, 3 rozdział rozprawy dotyczył charakterystyki metodyki i warunków badań własnych przeprowadzonych w ramach rozprawy. W podrozdziale 3.1 Autor przeprowadził charakterystykę badanych materiałów, uwzględniając ocenę ich struktury, składu chemicznego oraz zastosowanie. W kolejnym podrozdziale 3.2 Doktorant scharakteryzował warunki i zakres badań. Dokonał opisu narzędzi skrawających, warunków chłodzenia podczas skrawania, badań dotyczących kształtu wióra, składowych siły całkowitej, struktury geometrycznej powierzchni, właściwości tribologicznych oraz odporności korozyjnej. W ostatnim podrozdziale (3.3) opisał zastosowaną metodę planowania eksperymentu. Konkludując, rozdział 3 w zdecydowanej większości został napisany w obszerny i merytoryczny sposób, dostarczając niezbędnych informacji o przeprowadzonych badaniach i obliczeniach. Pewnym mankamentem jest natomiast opis metodyki wyznaczania współczynnika zgrubienia wióra. Nawiązując do tekstu pracy zawartego w rozdziale 3.2.3: „W celu zapewnienia dokładności statystycznej wyników pomiarów grubość wióra mierzono pięciokrotnie za pomocą suwmiarki elektronicznej.” W mojej opinii opis ten jest zbyt lakoniczny i nie podaje szczegółów w których obszarach uformowanego wióra dokonano pomiarów. Niemniej, do tego aspektu odniosę się bardziej szczegółowo w dalszej części recenzji.

W rozdziale 4 rozprawy Doktorant dokonał oceny wybranych zjawisk fizycznych podczas toczenia badanych materiałów na wyroby medyczne. Podrozdział 4.1 dotyczył oceny kształtu i rodzaju wióra. Niemniej, w ramach niniejszego podrozdziału wyznaczano również współczynnik spęczania wióra dla różnych warunków wejściowych procesu. W związku z tym, tytuł powinien zostać bardziej uszczegółowiony na przykład do postaci: „Wpływ warunków toczenia na kształt, rodzaj i spęczanie wióra”. Zawartość niniejszego rozdziału oceniam pozytywnie, chociaż w celu pogłębienia analizy można byłoby poddać również ocenie geometrię wiórów w powiększeniu (na przykład wykonanie zdjęć mikroskopowych), w celu identyfikacji zjawisk charakteryzujących dekohezję materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne (np. ewentualnej segmentacji lub formowania tzw. wiórów piłokształtnych). W podrozdziale 4.2 Autor dokonał oceny składowych siły całkowitej podczas toczenia w zakresie zróżnicowanych parametrów wejściowych procesu. W ramach opracowania wyników Doktorant przedstawił trójwymiarowe wykresy powierzchniowe opisujące zależności pomiędzy parametrami skrawania, a składowymi siły całkowitej oraz interesujące – z pragmatycznego punktu widzenia – wykresy obrazujące zmienność procentową sił

w zakresie badanych parametrów skrawania. Podsumowując rozdział 4 należy podkreślić bardzo duży zakres badań obejmujący zarówno ocenę kształtu i spęcznienia wiórów, a także składowych siły całkowitej. Uzyskane w ten sposób wyniki mają istotne znaczenie praktyczne i mogą służyć do przeprowadzenia optymalizacji doboru parametrów skrawania w celu uzyskania korzystnego kształtu wiórów i relatywnie niskiego obciążenia podczas obróbki materiałów na wyroby medyczne. Z drugiej strony pewne zagadnienia można byłoby opisać bardziej szczegółowo. Przykładowo, w analizie wyników brakuje komentarza odnośnie zakresu „pożądanych” i „niepożądanych” wartości współczynników spęcznienia dla badanych materiałów. Zamiast tego Autor raportuje jedynie zakres zmienności współczynnika zgrubienia w funkcji parametrów skrawania. W mojej opinii bardzo wartościowe byłoby skorelowanie otrzymanych współczynników zgrubienia z wartościami sił, gdyż zjawiska związane z odkształcaniem warstwy skrawanej podczas obróbki wpływają znacząco na siły wygenerowane podczas skrawania. Ponadto, w celu poszerzenia analizy wyników można byłoby odnieść się do dostępnych w literaturze modeli formowania wiórów i składowych siły całkowitej w celu wskazania istotnych czynników (np. zmiennych w równaniach) mających jakościowy i ilościowy wpływ na wygenerowane siły i stopień odkształcenia uformowanych wiórów.

Rozdział 5 rozprawy dotyczył wpływu warunków toczenia na kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni badanych materiałów. W rozdziale tym Autor przedstawił bardzo szerokie badania struktury geometrycznej powierzchni, obejmujące ocenę wybranych parametrów amplitudowych chropowatości ( $S_a$ ,  $S_z$ ), topografii 3D powierzchni, krzywych udziału materiałowego oraz izotropowości powierzchni. Stronę merytoryczną niniejszego rozdziału oceniam wysoko, gdyż Autor w kompleksowy sposób podszedł do problematyki konstituowania struktury geometrycznej powierzchni po toczeniu materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne. Uzyskana wiedza może umożliwić dobór efektywnych parametrów wejściowych, wpływających na otrzymanie pożądanych cech geometrycznych warstwy wierzchniej gotowych produktów stosowanych w inżynierii biomedycznej. Jednakże aby zwiększyć wartość merytoryczną rozdziału można byłoby przeprowadzić analizę porównawczą otrzymanych parametrów chropowatości z wartościami oszacowanymi na bazie dostępnych w literaturze modeli (np. uwzględniających minimalną grubość warstwy skrawanej, wypływkę plastyczną, przemieszczenia w układzie OUPN, itd.), w celu ustalenia wpływu określonych czynników i zjawisk występujących podczas dekohezji materiału, determinujących stan struktury geometrycznej powierzchni po obróbce. Na dodatek, nie do końca jasna jest celowość analizy udziału materiałowego i izotropowości powierzchni. Z założenia analizę krzywych udziału materiałowego przeprowadza się w celu określenia wybranych właściwości eksploatacyjnych i tribologicznych badanych powierzchni. Niemniej w opisie tych badań brakuje informacji praktycznych, które warunki obróbki zapewniają uzyskanie lepszych właściwości eksploatacyjnych gotowych wyrobów.

W rozdziale 6 rozprawy Autor dokonał analizy wskaźników użytkowych badanych materiałów. W ramach tego rozdziału dokonał szczegółowej analizy tribologicznej obejmującej wyznaczenie współczynnika tarcia, temperatury oraz intensywności zużycia pary trącej badany metal – polietylen UHMWPE. Dodatkowo rozdział ten obejmował ocenę mikroskopową zużycia próbek badanych materiałów, potencjału korozyjnego, oraz ocenę EDS materiałów po 28 dniach przechowywania w symulowanym płynie fizjologicznym SBF. W mojej opinii rozdział ten stanowi najmocniejszą naukowo i nowatorską część pracy.

W ramach przeprowadzonej analizy Autor ustalił istotne związki pomiędzy warunkami i parametrami toczenia, a właściwościami tribologicznymi i eksploatacyjnymi badanych materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne. Należy podkreślić, iż aktualnie w literaturze naukowej rzadko poruszana jest problematyka związków pomiędzy parametrami i warunkami obróbki ubytkowej, a właściwościami eksploatacyjnymi materiałów stosowanych w inżynierii biomedycznej. W związku z tym, przeprowadzona w pracy analiza ma istotną wartość poznawczą i może świadczyć o nowatorskich walorach rozprawy.

W rozdziale 7 pod tytułem *Podsumowanie i wnioski końcowe*, Autor przedstawił w syntetyczny sposób najważniejsze konkluzje wynikające z przeprowadzonych badań i analiz. Sformułował również wniosek, że postawione tezy zostały udowodnione. Dodatkową wartością naukową niniejszego rozdziału jest sformułowanie przez Autora zaleceń, rekomendacji i kierunków dalszych badań dotyczących obróbki materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne. Stanowi to podkreślenie walorów pragmatycznych rozprawy.

Ogólna kompozycja rozprawy zasługuje na ocenę pozytywną. Autor poprawnie przyjął kolejność rozdziałów i w większości przypadków dokonał prawidłowego podziału treści na rozdziały i podrozdziały. Praca zawiera pewne błędy językowo-stylistyczne, oraz brakuje w niej numeracji przytoczonych równań, jednakże niedociągnięcia te nie wpływają znacząco na czytelność i zrozumiałość treści, a w ten sposób nie umniejszają znaczących walorów naukowych pracy.

**Podsumowując ogólną ocenę treści rozprawy chciałbym przedstawić jej najważniejsze zalety naukowe, wskazujące jednocześnie na osiągnięcia naukowe Autora:**

- kompleksowe podejście do problemu badawczego, obejmujące przeprowadzenie szerokich badań eksperymentalnych, fizykalnych i technologicznych wskaźników skrawalności oraz właściwości tribologicznych i użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne,
- ustalenie istotnych związków pomiędzy warunkami i parametrami toczenia, a właściwościami tribologicznymi i eksploatacyjnymi badanych materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne,
- opracowanie zaleceń do obróbki skrawaniem materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne, w celu otrzymania optymalnych właściwości użytkowych gotowych wyrobów,
- interdyscyplinarność pracy łącząca istotne problemy technologii wytwarzania (wchodzące w skład inżynierii mechanicznej) z problematyką inżynierii biomedycznej.

### **3. Uwagi do rozprawy doktorskiej**

W niniejszej części recenzji zaprezentuję pewne uwagi, a także fragmenty rozprawy wymagające dodatkowych komentarzy i wyjaśnień ze strony Autora. Chciałbym zaznaczyć, iż w większości przypadków uwagi te mają charakter dyskusyjny, a nie stanowią bezpośredniego stwierdzenia niedociągnięć lub błędów.

- **Rozdział „Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów”, s. 9:** Autor stosuje oznaczenia: siła główna całkowitej siły skrawania, siła posuwowa całkowitej siły skrawania, siła odporowa

całkowitej siły skrawania. W mojej opinii, można było zastosować oznaczenia, które najczęściej są stosowane w terminologii obróbki skrawaniem i zgodne z normą PN-92/M-01002/04, czyli: siła skrawania –  $F_c$ , siła posuwowa –  $F_f$  oraz siła odporowa –  $F_p$ .

- **Rozdział 1.1.2 „Szczegóły kształtowania wióra”, s. 18 i 19:** Autor stosuje zamiennie zwroty: „ząbkowany” i „ząbkowaty” wiór. Zalecane byłoby ujednoczenie tego terminu.

- **Rozdział 1.1.3 „Siły skrawania”, s. 21:** zwrot: „warunków kinetyczno-technologicznych” jest błędny i powinien zostać zmieniony na „warunków kinematyczno-technologicznych”.

- **Rozdział 1.1.3 „Siły skrawania”, s. 26:** zdanie: „Największe wartości sił i temperatur skrawania uzyskano dla płytki WF” jest nielogiczne i powinno być sformułowane w następującej postaci: „Największe wartości sił i temperatur skrawania uzyskano podczas skrawania z zastosowaniem płytki WF”.

- **Rozdział 1.1.3 „Siły skrawania”, s. 27:** zdanie: „Analiza wyników pokazała, iż na początku pomiarów występowały regularne drgania parametryczne i niestabilne drgania o częstotliwości dźwiękowej podczas obróbki z większymi głębokościami skrawania.” jest niezrozumiałe. Co oznaczają pojęcia niestabilne drgania i częstotliwość dźwiękowa?

- **Rozdział 1.1.4 „Parametry struktury geometrycznej powierzchni”, s. 28:** zdanie: „Stan warstwy wierzchniej cechuje się geometrycznymi i fizykomechanicznymi wskaźnikami stanu warstwy wierzchniej [55].” jest nielogiczne i powinno być sformułowane w następującej postaci: „Stan warstwy wierzchniej scharakteryzować można za pomocą geometrycznych i fizykomechanicznych wskaźników [55].”

- **Rozdział 1.1.4 „Parametry struktury geometrycznej powierzchni”, s. 31:** zdanie: „Stąd mniejsze powierzchniowe odkształcenia sprawiają, iż profil rzeczywisty przybliża się coraz bardziej do profilu regularnego [55].” nie jest logiczne i powinno być sformułowane w następującej postaci: „Stąd mniejsze powierzchniowe odkształcenia sprawiają, iż profil rzeczywisty wykazuje większą zgodność kształtu z profilem regularnym [55].”

- **Rozdział 1.1.4 „Parametry struktury geometrycznej powierzchni”, s. 31, 32:** zdania: „Zależność chropowatości powierzchni od posuwu można wytłumaczyć tym, iż przy zmniejszeniu posuwu zmniejsza się jednocześnie grubość warstwy skrawanej. Wówczas promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej i grubość warstwy skrawania są porównywane.” nie są zrozumiałe. Jaki jest związek chropowatości powierzchni z grubością warstwy skrawanej i co oznacza, że „promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej i grubość warstwy skrawanej są porównywane”?

- **Rozdział 1.1.4 „Parametry struktury geometrycznej powierzchni”, s. 35:** zdanie: „Zauważono, że chropowatość powierzchni dla obu materiałów dają statystycznie zbliżone wartości.” jest niezrozumiałe.

- **Rozdział 1.1.5 „Wnioski dotyczące stanu wiedzy o wskaźnikach skrawalności”, s. 39:** zdanie: „Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury można stwierdzić, iż skrawalność tytanu i jego stopów oraz stali nierdzewnych jest bardzo skomplikowana i zależy od wielu czynników.” nie jest sformułowane w logiczny sposób. W mojej opinii skrawalność nie może być skomplikowana, a łatwa bądź trudna, lub ewentualnie niska bądź wysoka.

- **Rozdział 1.1.5 „Wnioski dotyczące stanu wiedzy o wskaźnikach skrawalności”, s. 39, 40:** zdanie: „W porównaniu do warunków chłodzenia na sucho, warunki chłodzenia metodą zalewową, metodami MQL i MQCL, wysokociśnieniowego i kriogenicznego zmniejszają chropowatość powierzchni i poprawiają jej integralność.” Jest nielogiczne i nie końca zrozumiałe. Zalecana forma: „W porównaniu do obróbki bez stosowania cieczy obróbkowych, skrawanie w warunkach chłodzenia metodą zalewową, metodami MQL i MQCL, a także wysokociśnieniowego i kriogenicznego wpływa na zmniejszenie chropowatości powierzchni i poprawę integralności powierzchni.”

- **Rozdział 2.2.1 „Kwestie ogólne”, s. 40:** zwrot „szczepienie” powinno być zastąpione zwrotem „wszczepienie”.

- **Rozdział 3.2.1 „Narzędzia skrawające”, s. 69:** Autor podaje; „kąta natarcia  $\gamma = 18^\circ$ , kąta przyłożenia  $\alpha = 7^\circ$ ” bez identyfikacji płaszczyzny w których one występują (np. płaszczyzna normalna, boczna lub ortogonalna)?

- **Rozdział 3.2.3 „Badania kształtu wióra”, s. 71:** w przeprowadzonych badaniach stosowane jest toczenie nieswobodne nieortogonalne (łukową krawędzią skrawającą odpowiadającą narożu płytki). W związku z tym, miarodajne wyznaczenie współczynnika zgrubienia wióra wymaga obliczenia średniej grubości warstwy skrawanej i średniej grubości wióra. W jaki sposób Autor zmierzył średnią grubość wióra? W pracy napisane jest jedynie, że: „W celu zapewnienia dokładności statystycznej wyników pomiarów grubość wióra mierzono pięciokrotnie za pomocą suwmiarki elektronicznej”. Czy zastosowanie suwmiarki umożliwiło przeprowadzenie dokładnego pomiaru średniej grubości wióra (należy podkreślić, iż w ramach przeprowadzonych badań średnie grubości warstwy skrawanej mogą wynosić poniżej 50 mikrometrów)? Może dokładniejszą metodą byłoby zastosowanie mikroskopu, w celu oceny grubości wióra w różnych jego obszarach, i wyznaczenia na tej bazie wartości średniej?

- **Rozdział 4.1 „Badania kształtu wióra”, s. 83:** fotografie wiórów przedstawione na rysunkach 4.1 – 4.3 są mało czytelne.

- **Rozdziały 4 oraz 5:** na wszystkich wykresach powierzchniowych (3D) brakuje punktów obrazujących dane doświadczalne, a wygenerowane są jedynie powierzchnie na bazie równań regresji. W ten sposób nie ma możliwości oceny jakości dopasowania powierzchni regresji do danych doświadczalnych i potwierdzenia zasadności doboru określonego równania regresji w oprogramowaniu Statistica.

- **Rozdział 4.1 „Badania kształtu wióra”, s. 87-89:** z wykresów na rysunkach 4.4 – 4.6 wynika, iż dla niektórych wartości parametrów skrawania otrzymano wartości współczynników zgrubienia poniżej 1. Wskazywałoby to na występowanie ujemnego spęczania wióra podczas obróbki co jest mało prawdopodobne. Niemniej w niektórych, przypadkach procesów obróbkowych materiałów trudnoskrawalnych (np. stopów tytanu, stali zahartowanych) mogą występować tzw. wióry piłokształtne, rezultatem, których jest wartość współczynnika spęczania na poziomie 1. W mojej jednak opinii nie miało to tutaj miejsca, a wartości  $k_h < 1$  mogą być wywołane błędami pomiarowymi lub niską jakością dopasowania powierzchni regresji do danych doświadczalnych. Proszę Autora o ustosunkowanie się do tej kwestii. Dodatkowo, proszę o sprawdzenie czy jednostka współczynnika zgrubienia to na pewno milimetr?

- **Rozdział 4.2 „Wpływ warunków toczenia na siły skrawania”, s. 93-101:** w opisie wykresów na rysunkach 4.11 – 4.19 brakuje informacji, jakich miar statystycznych sił dotyczą zależności przedstawione na wykresach?

- **Rozdział 4.2 „Wpływ warunków toczenia na siły skrawania”, s. 94-95:** w analizie wyników brakuje wyjaśnienia, co może być przyczyną wygenerowania większych wartości sił posuwowych i odporowych podczas skrawania „na sucho” stopu tytanu (przy największych badanych głębokościach skrawania i posuwach), w porównaniu do wartości otrzymanych podczas obróbki z użyciem metody zalewowej i MQL? Należy zaznaczyć, że zazwyczaj zastosowanie chłodzenia i smarowania w strefie skrawania przyczynia się do spadku współczynnika tarcia na powierzchni natarcia i przyłożenia, a w ten sposób do obniżenia wartości składowych siły całkowitej.

- **Rozdział 5.1 „Parametry amplitudowe SGP”, s. 111, 113, 115:** na rysunkach 5.2, 5.4, 5.6 widać wyraźnie niemonotoniczność wpływu posuwu i prędkości skrawania na chropowatość powierzchni  $S_a$  i  $S_z$ . Co może być przyczyną otrzymania takich zależności?

#### **4. Podsumowanie i wnioski końcowe**

Podsumowując recenzję stwierdzam, że mgr inż. Kamil Leksycki zdefiniował, a następnie rozwiązał istotny i aktualny problem naukowy dotyczący skrawalności materiałów przeznaczonych na wyroby medyczne. W mojej opinii Autor w sposób znaczący przyczynił się do poszerzenia wiedzy w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna oraz inżynieria biomedyczna, a przede wszystkim w temacie kształtowania tekstury powierzchni obrobionych materiałów metalowych stosowanych na wyroby medyczne, co przyczyni się do rozwoju technologii produkcji tych wyrobów. Świadczy to o wysokim poziomie naukowym Doktoranta i jednocześnie potwierdza jego gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Kamila Leksyckiego pt. *Badanie wybranych wskaźników skrawalności i właściwości użytkowych materiałów stosowanych na wyroby medyczne* w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (art. 13 ust. 1 Ustawa z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o



*stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z dnia 21.06.2016r., poz. 882)) i może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Może być zatem dopuszczona do publicznej obrony.

Dodatkowo, ze względu na bardzo wysokie walory naukowe i nowatorstwo rozprawy wnioskuję o wyróżnienie jej Autora mgr. inż. Kamila Leksyckiego.

Wojciechowski