

dr hab. inż. Radosław Maruda, prof. UZ
Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Mechanicznej
ul. Prof. Z. Szafrana 4
65-516 Zielona Góra
Wydział Mechaniczny

Zielona Góra, dn. 08.03.2023 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Lisowicz
pt. „Analiza toczenia wykończeniowego stopu tytanu Ti-6Al-4V
w warunkach MQL z zastosowaniem dodatku
mikrometrycznego proszku z grafitu płatkowego”

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowiło pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej, Pana dr hab. inż. Andrzeja Burghardta, prof. PRz, nr RM-530-16-03/2023 z dnia 18 stycznia 2023 r.

1 Wstęp

Badania realizowane w ciągu ostatnich lat jednoznacznie wskazują na zainteresowanie naukowców oraz przemysłu metodami chłodzenia wykorzystywanymi w trakcie obróbki skrawaniem. Z jednej strony podyktowane jest to ciągłą zmianą własności materiałów konstrukcyjnych a z drugiej złą skrawalnością niektórych gatunków stopów, do których zalicza się stop tytanu Ti-6Al-4V. Trudności związane z obróbką tego stopu wynikają z silnego powinowactwa chemicznego do materiałów narzędziowych oraz dużej zmienności sił skrawania, które powodują w głównej mierze zwiększone zużycie ściernie, adhezyjne, dyfuzyjne oraz deformacje plastyczne ostrza skrawającego. Dodatkowo zwiększanie świadomości społecznej oraz ekologicznej wynikającej z negatywnego wpływu płynów obróbkowych na środowisko, jak i zdrowie operatorów, a także wzrastające koszty związane z ich stosowaniem doprowadziły do rozwoju metod chłodzenia, których główną ideą jest ograniczenie wydatku związanego z użyciem cieczy chłodząco-smarujących.

W celu przeciwdziałania negatywnym skutkom stosowania chłodziw, opracowano metody bazujące na wykorzystywaniu niewielkich ilości płynów obróbkowych. Zalicza się do nich metodę zminimalizowanego smarowania MQL, która polega na dostarczaniu medium czynnego do strefy skrawania w postaci aerozolu. Niewielkie ilości płynu obróbkowego stosowanego podczas obróbki oraz fakt, iż powstające wióry są niemal suche i mogą podlegać recyklingowi, pozwalają na uwzględnienie metody MQL jako skutecznej i ekologicznej alternatywy dla obróbki na mokro.



Niekiedy jednak mgła olejowa nie posiada wystarczających własności termicznych, by skutecznie funkcjonować w strefie skrawania. W takiej sytuacji potencjalnym rozwiązaniem jest dodanie do medium czynnego mikro lub nanocząstek, które wykazują skuteczne działanie w zakresie smarowania i odprowadzania ciepła. Do wzbogacania płynów obróbkowych w ten sposób stosuje się mikro i nanocząstki metaliczne oraz niemetaliczne, ceramiczne, węglowe, a także tlenki i węgliki. Zadaniem mikro i nanocząstek jest wówczas m.in. zamiana tarcia ślizgowego na kombinację tarcia ślizgowego oraz tocznego oraz wytworzenie warstwy tribofilmu na powierzchni obrabianej, co wpływa pozytywnie na wydajność procesów obróbkowych.

2 Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa obejmuje 161 stron, a w tym: 2 str. spisu treści, 2 str. wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów; 150 str. zasadniczej części pracy; 12 str. wykazu literatury (172 pozycje); 1 str. streszczenia w j. polskim, 1 str. streszczenia w j. angielskim oraz załącznika zawierającego zestawienie średnich wartości składowych sił skrawania.

Praca składa się z 6 głównych rozdziałów. Układ pracy jest prawidłowy – typowy dla prac eksperymentalnych.

Praca została opracowana bardzo starannie pod względem redakcyjnym.

Tytuł dysertacji jest zgodny z jej treścią, choć być może dobrze byłoby zasygnalizować też przedstawioną w dysertacji analizę skrawalności wybranego stopu tytanu przy zastosowaniu metody MQL z mikrocząstkami grafitu płatkowego. Moim zdaniem niefortunnym sformułowaniem jest w tytule „proszku z grafitu płatkowego”. Wtedy tytuł mógłby brzmieć: „Analiza skrawalności stopu tytanu Ti-6Al-4V podczas toczenia z zastosowaniem metody zminimalizowanego smarowania z mikrocząstkami grafitu płatkowego”.

We wstępie Autorka przedstawiła najważniejsze zagadnienia dotyczące podjętej problematyki badawczej. Scharakteryzowano właściwości stopu tytanu Ti-6Al-4V oraz wynikające w związku z nimi problemy podczas jego obróbki skrawaniem. Nakreślono najważniejsze aspekty dotyczące zwiększenia wydajności samego procesu wytwarzania detali z tego stopu poprzez zastosowanie metody zminimalizowanego smarowania. Uwzględniono zarówno aspekty środowiskowe jak również zwiększające właściwości smarowe stosowanych płynów obróbkowych poprzez wprowadzenie mikro i nanocząstek. We wstępie przedstawiono również budowę pracy i krótką charakterystykę wszystkich najważniejszych rozdziałów.

W rozdziale pierwszym poświęconym analizie danych literaturowych, na 46 stronach, w oparciu o 172 pozycje literaturowe dokonany został przegląd opracowań dotyczących właściwości trudnoskrawalnego stopu tytanu Ti-6Al-4V, rodzajów płynów obróbkowych stosowanych w obróbce skrawaniem oraz scharakteryzowano metodę zminimalizowanego smarowania ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania mikro i nanocząstek wprowadzanych do płynów obróbkowych. Większość prac naukowych przedstawiono

w formie tabelarycznej podając najważniejsze założenia eksperymentu oraz wynikające z prac wyniki. Na podkreślenie zasługuje fakt, że aż 116 z przywołanych publikacji ukazało się od roku 2012.

Wyniki przeprowadzonej analizy danych literaturowych oraz sprecyzowane we wstępie uzasadnienie konieczności podjęcia prac potwierdza, że Doktorantka mgr inż. Joanna Lisowicz zajęła się niezwykle ciekawą, aktualną i przyszłościową tematyką doboru stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego zastosowanego w różnych rodzajach płynu obróbkowego wykorzystywanych w metodzie zminimalizowanego smarowania. Zastosowanie odpowiedniego stężenia dodatków wprowadzanych do płynu obróbkowego jest obecnie badana przez wielu naukowców a odgrywa szczególną rolę podczas obróbki stopów trudnoskrawalnych, co było podstawą do sprecyzowania w drugim rozdziale hipotez, celów i zakresu pracy. Na podstawie wyników przeprowadzonych wstępnych badań własnych wyszczególniono hipotezy w brzmieniu:

- 1) dodatek mikrometrycznego proszku z grafitu płatkowego do cieczy bazowej podczas toczenia wykończeniowego w warunkach MQL może oddziaływać korzystnie na wybrane wskaźniki skrawalności stopu tytanu Ti-6Al-4V w wybranych obszarach technologicznych, bez pogarszania stanu technologicznej warstwy wierzchniej;
- 2) możliwe jest zamodelowanie związków pomiędzy parametrami nastawnymi procesu, tj. prędkością skrawania, posuwem oraz masowym stężeniem dodatku mikrometrycznego proszku z grafitu płatkowego w cieczy bazowej, a składowymi siły skrawania oraz parametrami chropowatości powierzchni przedmiotu obrabianego S_a i S_z

i dwa cele w brzmieniu:

- 1) określenie wpływu dodatku mikrometrycznego proszku z grafitu płatkowego o różnym stężeniu w różnych, biodegradowalnych cieczach bazowych, na wybrane wskaźniki skrawalności stopu tytanu Ti-6Al-4V i stan technologicznej warstwy wierzchniej, w procesie toczenia wykończeniowego w warunkach MQL oraz
- 2) analizę oddziaływań i modelowanie związków pomiędzy parametrami nastawnymi procesu, tj. prędkością skrawania, posuwem i masowym stężeniem mikrometrycznego proszku z grafitu płatkowego w cieczy bazowej, a składowymi siły skrawania oraz parametrami chropowatości powierzchni przedmiotu obrabianego S_a i S_z .

Oczywiście treść przytoczonych **hipotez** oraz **celów pracy** w pełni ujmują zamierzenia Doktorantki, nie mniej precyzja ich formułowania skłania do dyskusji nad syntezą części zapisów i wydzieleniem celów: naukowego i utylitarnego, które często są osiągnane poprzez rozwiązanie konkretnego problemu technologicznego.

W praktyce Doktorantka podjęła się bowiem opracowania doboru stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego wprowadzanych do biodegradowalnych olejów wykorzystywanych jako płyn obróbkowy w metodzie zminimalizowanego smarowania, realizując przy tym niezwykle obszerny zakres badań naukowych obejmujących m.in.: analizę wpływu stężenia ww. mikrocząstek w nanopłynie na zużycie ostrza skrawającego, siły skrawania, wybrane parametry

chropowatości 3D powierzchni obrabianej, kształt wiórów oraz mikrostrukturę warstwy wierzchniej. Zakres badań przedstawiony został w sposób wystarczający, gdzie Autorka w głównej mierze skupiła się na osiągnięciu założonych celów pracy.

Rozdział trzeci liczący 7 stron poświęcono opisowi metodyki badań doświadczalnych. W rozdziale tym dokonano identyfikacji zarówno przedmiotu badań jak i zastosowanych podczas realizacji pracy metod i technik badawczych. Mocną stroną pracy jest zaprojektowanie i wykonanie przez Doktorantkę układu, który zapewniał utrzymanie natężenia przepływu oleju na stałym poziomie niezależnie od lepkości oleju, a więc zmiany rodzaju oleju jak również zmiany stężenia zastosowanych mikrocząstek grafitu płatkowego. Należy podkreślić również trafny wybór przez Doktorantkę do badań olejów biodegradowalnych jako bazowych płynów obróbkowych, które w literaturze naukowej funkcjonują jako przyjazne dla człowieka i środowiska. Należy również podkreślić fakt, że w tabeli 3.2 przedstawiono skład każdego z płynów obróbkowych, która z punktu widzenia naukowca może być pomocna przy dyskusji dotyczącej wyników badań.

W rozdziale czwartym zaprezentowanym na 9 stronach, przedstawiono badania wstępne oraz cel ich przeprowadzenia. Jest to rozdział, który z punktu widzenia czytelnika pozwala na zrozumienie wszystkich badań doświadczalnych. Doktorantka zaprezentowała w tym rozdziale określenie zużycia ostrza skrawającego w zależności od wartości odporowej siły skrawania oraz dobór parametrów skrawania, sposób doprowadzania mgły olejowej do strefy skrawania, natężenia przepływu płynu obróbkowego oraz ciśnienia roboczego sprężarki. Przedstawione wyniki porównywano również z obróbką na sucho.

Zasadniczą część rozprawy stanowi rozdział piąty zatytułowany *Badania zasadnicze*, liczący 56 stron. W rozdziale tym przedstawiono, zachowując logiczny układ, wyniki szeroko nakreślonych badań, które można podzielić na pięć zasadniczych obszarów badawczych:

- 1) Badania wpływu rodzaju płynu obróbkowego i stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego na trwałość narzędzia. Trwałość narzędzia określono na podstawie objętości usuniętego materiału w mm^3 aż do uzyskania wartości szerokości pasma zużycia na powierzchni przyłożenia w strefie C $VB_C = 0,2 \text{ mm}$.
- 2) Analizę sił skrawania oraz określenie ich zależności modelowej w zależności od zmiany prędkości skrawania, posuwu oraz stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego w nanopłynie obróbkowym.
- 3) Analizę topografii powierzchni w zależności od zmiany prędkości skrawania, posuwu oraz stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego w nanopłynie obróbkowym w zakresie zmian widoków izometrycznych, wartości wybranych parametrów chropowatości 3D powierzchni obrabianej. Przedstawiono również modele matematyczne określające zależności wybranych parametrów skrawania i zmiany wartości stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego na wartości parametrów chropowatości S_a i S_z .
- 4) Kształtowanie wiórów w zależności od rodzaju płynu obróbkowego i zawartości stężenia w nich mikrocząstek grafitu płatkowego, które porównano z obróbką na sucho.

- 5) Analizę mikrostruktury technologicznej warstwy wierzchniej w zależności od zmiany parametrów skrawania, rodzajów płynu obróbkowego i zastosowanego w nich stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego.

Opisane w rozdziale piątym wyniki badań zapewniły możliwość obszernego wnioskowania, które Doktorantka przedstawiła w rozdziale szóstym. Zamieszczenie wyczerpujących odpowiedzi na hipotezy pracy ułatwia czytelnikowi możliwość płynnego zapoznania się z wnioskami zamykającymi część zasadniczą rozprawy. Literatura zamieszczona w końcowej części pracy jest bardzo obszerna. Autorka analizuje i cytuje najnowszą światową literaturę, która została sformatowana jednakowo z zasadą kolejności cytowania.

3 Ocena rozprawy doktorskiej

Omawiana rozprawa doktorska jest próbą oceny dwóch ważnych problemów badawczych. W pierwszym Autorka zwraca uwagę na znaczenie zmiany stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego w płynie obróbkowym w metodzie zminimalizowanego smarowania na wybrane wskaźniki skrawalności. Drugim zagadnieniem badawczym opisanym w dysertacji jest zamodelowanie związków pomiędzy parametrami skrawania tj. prędkości skrawania i posuwu oraz zmiany masowego stężenia mikrocząstek grafitu płatkowego na wartości sił skrawania oraz wybrane parametry chropowatości 3D powierzchni obrobionej. Całość recenzowanej pracy pod względem merytorycznym zasługuje na bardzo dobrą ocenę i nie budzi istotnych zastrzeżeń. Praca Doktorantki jest samodzielna, co świadczy o dojrzałości naukowej i doświadczeniu w prowadzeniu prac badawczych. Swoje uwagi podzieliłem na dwie części: zasadnicze oraz kwestie o mniejszym znaczeniu.

Uwagi zasadnicze:

- 1) Autorka w całej pracy stosuje nazewnictwa parametry nastawne procesu, zaliczając do nich prędkość skrawania, posuw oraz stężenie masowe mikrocząstek grafitu płatkowego. Moim zdaniem trafniejsze jest ustalenie wpływu zmiany wartości stężenia masowego mikrocząstek grafitu płatkowego na wybrane wskaźniki skrawalności w przedziale zmiennej prędkości skrawania oraz zmiennego posuwu.
- 2) Niezrozumiałym jest fakt niestosowania przez Autorkę sformułowania „mikrocząstki grafitu płatkowego”, w całej pracy doktorskiej, tylko zastosowano nazewnictwo: „mikrometryczny proszek z grafitu płatkowego”. Wszystkie stosowane nanocząstki lub mikrocząstki tworzą proszek i według mojej oceny dość niefortunnie brzmi wówczas pojęcie np. dla nanocząstek miedzi: „nanometryczny proszek z miedzi”.
- 3) Wyniki badań w podrozdziałach 1.3 oraz 1.3.1 zostały przedstawione tabelarycznie podając najważniejsze dane dotyczące samego eksperymentu oraz najważniejsze wyniki. W tej części pracy doktorskiej powinno być więcej dyskusji, dlaczego otrzymano takie wyniki z uwzględnieniem zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących

w strefie skrawania. Brakuje wyjaśnienia oddziaływania mikro i nanocząstek stosowanych w płynie obróbkowym. Autorka powinna przytoczyć tutaj pracę oraz rysunki wyjaśniające schemat ich działania, do których należy zaliczyć: efekt łożyska kulkowego, tworzenie tribofilmu, oddziaływania ściernego zmniejszającego chropowatość powierzchni obrobionej oraz wypełniania strat materiału.

- 4) We wniosku pierwszym w rozdziale „Wnioski z analizy literatury” stwierdzono zapis: „prowadzi do polepszenia wskaźników jakościowych procesu skrawania” i zostały wymienione wskaźniki, które są przedstawiane w postaci wartości, a więc wskaźników ilościowych a nie jakościowych jak podaje Autorka.
- 5) Na str. 65 Doktorantka stwierdza, że „Trwałość narzędzia jest najważniejszym parametrem charakteryzującym skrawalność materiału”. Nie zgadzam się z tym stwierdzeniem, ponieważ w obróbce wykończeniowej ważniejszym wskaźnikiem jest chropowatość powierzchni obrobionej, natomiast trwałość narzędzia jest najważniejsza w obróbce zgrubnej.
- 6) W trakcie opisywania badań brak informacji dotyczącej ilości powtórzeń. Jeżeli przeprowadzono kilka powtórzeń, dlaczego na rys. 4.2-4.4 nie przedstawiono słupków błędów rozrzutu?
- 7) Jak Doktorantka rozumie sformułowanie na str. 75₁₂ „Przyjęte parametry skrawania odzwierciedlają wartości stosowane w przemyśle lotniczym”. Parametry skrawania i parametry tworzenia medium czynnego w metodzie MQL dobiera się w zależności od zastosowanego narzędzia, materiału obrabianego, rodzaju obróbki itp., ale nie od rodzaju przemysłu jak podaje Autorka.
- 8) Dlaczego Autorka zastosowała inną metodykę doboru oraz samych parametrów skrawania przedstawionych w tab. 5.2 i 5.3 podczas badań doświadczalnych sił skrawania i topografii powierzchni obrobionej a inne parametry (tab. 5.4) i metodykę badań (metoda PSI) dla badań kształtów wióra?
- 9) W pracy doktorskiej brakuje informacji na temat przygotowania płynu obróbkowego z różnymi stężeniami mikrocząstek grafitu płatkowego. Proszę wyjaśnić jak zapobiegano zjawiskom aglomeracji, które towarzyszą podczas stosowania nanopłynu w metodzie MQL a tym samym w jaki sposób zapewniono stabilność nanopłynu w trakcie badań?
- 10) W rozdziałach 5.2.2 oraz 5.2.3, które stanowią zasadniczą część pracy doktorskiej, Autorka nie przedstawiła dyskusji wyników, która pozwoliłaby czytelnikowi zapoznać się z występowaniem najważniejszych zjawisk fizyczno-chemicznych zachodzących w strefie skrawania podczas obróbki stopu tytanu Ti-6Al-4V. Przy prezentacji wyników na rys. 5.5; 5.7 itd. nie dołączono legendy, dla tego trudno odczytać wartości sił skrawania, które odpowiadają odpowiednim kolorom na wykresach. Uważam również za niefortunne nazewnictwo na rys. 5.6, 5.8 itd. dla osi pionowej „Redukcja głównej siły skrawania F_c , %”. Bardziej trafnym opisem osi powinno być: „Zmiany procentowe

głównej siły skrawania F_c , %”. Proszę również o wyjaśnienie w jaki sposób Doktorantka wnioskuje z rys. 5.6, że „dodatek GMP 0,30% siła była niższa o około 3%, natomiast zawartość 0,60% GMP prowadziła do zmniejszenia wartości siły o około 5,9-7,2%”. Na rysunkach przedstawiające zmiany procentowe ani nie przedstawiono legendy dla kolorów ani na której z osi znajduje się stężenie GMP.

Uwagi o mniejszym znaczeniu:

- 1) Nie potrzebne jest użycie zwrotu „w zakresie” w tytułach podrozdziałów 5.1.1 oraz 5.1.2. Tytuł, który mógłby brzmieć „Badania zużycia ostrza” jasno stwierdza, że czytelnik nie będzie spodziewał się tam innych wyników.
- 2) Nie fortunnym jest użycie słowa „kształtowanie” w rozdziałach 5.2.2 oraz 5.2.3, ponieważ nie jest przyjęte w obróbce skrawaniem sformułowanie „kształtowanie składowych sił skrawania”. Podrozdziały powinny nazywać się „Analiza składowych sił skrawania” lub „Ocena składowych sił skrawania” itd.
- 3) W wykazie ważniejszych oznaczeń i skrótów również stwierdzono nieścisłości, do których należy zaliczyć:
 - a. Według normy PN-EN ISO 25178-2 parametr Sa – średnia arytmetyczna wysokość powierzchni o ograniczonej skali; a parametr Sz – największa wysokość powierzchni o ograniczonej skali.
 - b. MQCL – to metoda zminimalizowanego chłodzenia i smarowania a MQL – metoda zminimalizowanego smarowania itd. Autorka dysertacji w całej pracy posługuje się błędnym nazewnictwem. Gdyby to byłaby minimalna ilość płynu obróbkowego, to Autorka powinna określić minimalną wartość natężenia przepływu płynu obróbkowego, który skutecznie penetrowałby strefę skrawania. Dlatego w języku polskim powinno się posługiwać nazewnictwem jak powyżej.
- 4) Proszę wyjaśnić jaka jest różnica pomiędzy metodą MQL i SQL?
- 5) Proszę rozważyć, czy nie lepiej w całej pracy doktorskiej używać „płyn obróbkowy” lub „ciecz chłodząco-smarująca” zamiast pojęcia „ciecz”.
- 6) Dlaczego Autorka we wstępie podaje stwierdzenie, że „Badania wstępne obejmowały określenie sposobu doprowadzania cieczy chłodząco-smarującej w pobliże strefy skrawania...”? Czy były prowadzone jakieś prace przez Autorkę, które udowodniły, że żadne kropelki z mikrocząstkami grafitu płatkowego nie docierają do strefy skrawania, tylko w jej pobliże?
- 7) Proszę o wyjaśnienie zdania na str. 19 „Przykładem modyfikacji narzędzi jest zastosowanie narzędzi obrotowych”.
- 8) Zastosowano złe nazewnictwo dla skrótu AW na str. 24. Autorka podaje, że to jest: „anti-weld agents” a powinno być „anti-wear”.
- 9) Niefortunne sformułowanie na str. 31. Proszę o wyjaśnienie zdania: „są niezbędne do jednoczesnego zminimalizowania chropowatości powierzchni i siły skrawania”.

- 10) Do wyliczania na str. 37 należy dodać nanocząstki miedzi oraz dwusiarczku wolframu.
- 11) Pod sugestię poddaję zastąpienie nazewnictwa na str. 56 „na kształtowanie geometrii wiórów” na „kształty wiórów”.
- 12) Proszę doprecyzować, czy podczas pomiarów topografii powierzchni przy wykorzystaniu mikroskopu firmy Alicona stosowano jakieś filtry, ponieważ widoki izometryczne przedstawione w pracy doktorskiej wydają się być wygładzone? Jaki zastosowano obszar pomiarowy skanowanej próbki, bo nie zostało to przedstawione na rys. 5.42 i dalszych.
- 13) Proszę wyjaśnić, w jaki sposób powłoka zastosowana na narzędzie skrawające wpływa na zakłócenie pomiarów podczas badania zużycia jak twierdzi Autorka na str. 60?
- 14) Na rys. 4.1 (str. 66) nie stwierdzam różnic w doprowadzaniu płynu obróbkowego do strefy skrawania w metodzie MQL. Proszę wyjaśnić różnice pomiędzy rys. 4.1a a rys. 4.1b.
- 15) Na str. 65²² Autorka podaje, że ciśnienia powietrza jest równe 0,7 MPa. Proszę podać aparaturę do pomiaru ciśnienia (czy pomiar odbywał się na wyjściu z dyszy?), czy może jest to ciśnienie robocze sprężarki?
- 16) Str. 65²¹ – proponuję stosować nazewnictwo „porównano” zamiast „odnoszono” w zdaniu „Dodatkowo wyniki badań odnoszono do obróbki na sucho”.
- 17) Str. 68⁸ – zamiast „były zbliżone” Autorka powinna użyć: „różnica nie przekraczała 0,6%”.
- 18) Na jakiej podstawie Doktorantka na str. 81¹² stwierdza, że: „Wynikało to ze zmniejszenia wartości współczynnika tarcia wraz ze wzrostem zawartości GMP”? W całej pracy doktorskiej nie stwierdzono badań dotyczących współczynnika tarcia ani powyższe zdanie nie jest zakończone cytowaniem, które potwierdziłyby wyniki z innej pracy naukowej.
- 19) Str. 119² – zamiast „zbocza jak i wierzchołków” – powinno być „dołów oraz wierzchołków”.
- 20) W pracy stwierdzono również kilka błędów językowych:
 - a. Str. 74 – zamiast „doskonałej odporności na korozję”, powinno być „doskonałej odporności na korozję”;
 - b. Str. 9² – powtórzenie: „wiele zastosowań w wielu” itp.
 - c. Autorka w kilkunastu miejscach pracy używa nągminnie słowa „wyższe” zamiast „większe” (str. 14⁴) oraz niższa zamiast mniejsza, np.: „uzyskanie niższej siły skrawania (str. 21⁴) – powinno być: „uzyskanie mniejszej siły skrawania” itp.
 - d. Niefortunnie Autorka w kilkunastu miejscach używa w pracy naukowej wyrażen: „lepsza”, „gorsza”, „niemalże identyczne” lub „nieco większe” np. str. 20⁸ – „Lepszą wydajność obróbki”, str. 27²³ – „najlepsze wyniki”, str. 71⁸ – „są niemalże identyczne”, str. 71⁹ – „wartości te były nieco większe” itd.

- e. Jak Autorka rozumie słowo efektywność, w szczególności zastosowanego w wyrażeniach: „efektywność nanocieczy z dodatkiem Al_2O_3 w warunkach MQL jest lepsza pod względem” na str. 46₁₄ oraz „Hegab i inni [151] badali efektywność zastosowania cieczy” na str. 50₁₈.
- f. W skrócie podpisów pod rysunkami brakuje kropki – prawidłowo powinno być: „Rys. 1.1. Wpływ dodatków stopowych...” itd.

Wszystkie błędy językowe zostaną przekazane Autorce w osobnym pliku. W trakcie czytania pracy zauważono również nieliczne błędy interpunkcyjne, które przekazano bezpośrednio Doktorantce do wykorzystania podczas przygotowywania publikacji.

Przytoczone uwagi nie wpływają na ogólnie bardzo wysoką ocenę poziomu recenzowanej rozprawy, zawierającej szereg wartościowych wyników i analiz. Doktorantka wykazała się dużym opanowaniem występujących w pracy zagadnień teoretycznych i metodyk badawczych oraz bardzo dużą wiedzą w zakresie stosowania ekologicznych metod chłodzenia, a do jej oryginalnych osiągnięć zaliczam:

- 1) Ustalenie wydatku podawania płynu obróbkowego w metodzie zminimalizowanego smarowania w zależności od zastosowanej metody podawania medium czynnego do strefy skrawania.
- 2) Zaprojektowanie i wykonanie układu, który zapewniał utrzymanie wydatku oleju na stałym poziomie niezależnie od lepkości nanopłynu.
- 3) Ustalenie zależności pomiędzy zużyciem ostrza skrawającego i wartościami sił skrawania.
- 4) Dobór olejów biodegradowalnych w badaniach doświadczalnych, które mają zastosowanie ze względu na swoje właściwości jako płyny obróbkowe ekologiczne stosowane w tzw. zielonej produkcji.
- 5) Podjęcie tak ważnego tematu jakim jest dobór stężenia mikrocząstek wprowadzanych do płynu obróbkowego i wykazanie zależności od jego zmiany na wybrane wskaźniki skrawalności podczas obróbki stopu tytanu Ti-6Al-4V.
- 6) Wyznaczenie modeli określających związek pomiędzy wartościami sił skrawania i wybranych parametrów chropowatości od zmiany prędkości skrawania, posuwu i stężenia mikrocząstek w płynie obróbkowym.

4 Wniosek końcowy

Z przedstawionej wyżej oceny rozprawy Pani mgr. inż. Joanny Lisowicz wynika, że:
- wybór tematyki pracy został przeprowadzony w sposób trafny i odnosi się do aktualnej wiedzy i praktyki,

- Doktorantka posiada umiejętność zaprojektowania złożonych zadań naukowych i zagadnień praktycznych oraz ich realizacji nowoczesnymi metodami,
- podjęte w rozprawie trudne zadania zostały zrealizowane na wysokim poziomie,
- przeprowadzone analizy i opracowanie wyników jak również i forma wniosków nie budzą istotnych zastrzeżeń,
- treść rozprawy stanowi zamkniętą całość, posiada starannie opracowaną szatę graficzną oraz stojącą na wysokim poziomie dokumentację z badań własnych.

Przytoczone fakty świadczą o kompetencjach Doktorantki w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jej dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Inżynieria mechaniczna”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą. Stwierdzam zatem, że praca mgr. inż. Joanny Lisowicz pt.: „Analiza toczenia wykończeniowego stopu tytanu Ti-6Al-4V w warunkach MQL z zastosowaniem dodatku mikrometrycznego proszku z grafitu płatkowego” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu „Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku oraz dodatkowo Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Jednocześnie wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie Autorki do jej publicznej obrony.

z poważaniem
Małgorzata Rakus