

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Szczotkarz

nt. *Analiza parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami podczas obróbki stopu tytanu Ti6Al4V*

Promotor: dr hab. inż. Radosław Maruda, prof. UZ

Recenzja została opracowana na podstawie pisma nr IMM-D.51.511.3.2023.JG. skierowanego przez Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego, dr hab. inż. Justynę Patalas-Maliszewską z dnia 30.03.2023r.

OMÓWIENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ (TEMATYKA, TYTUŁ, UKŁAD ORAZ TREŚĆ) ZE WSKAZANIEM UWAG MERYTORYCZNYCH ORAZ REDAKCYJNYCH

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Szczotkarz, nt. *Analiza parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami podczas obróbki stopu tytanu Ti6Al4V* podejmuje ważne zagadnienia z obszaru inżynierii mechanicznej w zakresie obróbki ubytkowej materiałów trudnoskrawalnych.

Dobór warunków obróbki jest istotny dla zapewnienia wytworzonym wyrobom, wymaganych dokumentacją techniczną, właściwości funkcjonalnych. Jednym ze sposobów uzyskania odpowiedniej charakterystyki w zakresie dokładności wymiarowo-kształtowej oraz jakości powierzchni, przy zachowaniu trwałości narzędzi skrawających, jest zapewnienie właściwego chłodzenia oraz smarowania w strefie obróbki poprzez zastosowanie odpowiednio dobranego medium czynnego. Przekłada się to na wydajność i efektywność procesu wytwarzania, a co za tym idzie – również na koszty produkcji. Poza tym, nie bez znaczenia pozostaje kwestia związana z oporami ruchu (tarciami), które mają miejsce w strefie kontaktu, zarówno w procesie obróbki (narzędzie-przedmiot obrabiany), jak również w procesie eksploatacji (współpracujące tarciowo części maszyn i urządzeń). Warto podkreślić, że znacząca część energii produkowanej w skali światowej jest zużywana właśnie na ich pokonywanie. Poszukiwanie, a następnie wprowadzanie rozwiązań, mających na celu ograniczenie oporów ruchu, przyczynia się do zmniejszenia zapotrzebowania energetycznego, tym samym korzystnie wpływając na środowisko.

Można zatem stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Szczotkarz wpisuje się w obszar współcześnie prowadzonych prac naukowo-badawczych, w szczególności w obszarze obróbki ubytkowej materiałów trudnoskrawalnych, a otrzymane wyniki badań pozwalają na poprawę warunków procesu obróbki, znajdując swoje pozytywne odzwierciedlenie w procesie eksploatacji różnych obiektów technicznych.

Tytuł jednoznacznie oddaje tematykę rozprawy doktorskiej, która jest aktualna, a materiał w niej przedstawiony stanowi wartościowy i oryginalny wkład do dyscypliny inżynieria mechaniczna, obejmując rozważania teoretyczne oraz prace symulacyjno-doświadczalno-analityczne w zakresie zmiennych parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania (m.in. natężenie przepływu masowego oleju, natężenie przepływu objętościowego powietrza), właściwości medium czynnego (rodzaj, wielkość

i stężenie masowe nanocząstek) oraz wpływu tych właściwości na parametry obróbki, charakterystykę powierzchni obrobionej i mechanizm zużycia narzędzia skrawającego.

Praca jest obszerna, licząc łącznie 253 strony tekstu i obejmując: stronę tytułową (1 strona), spis treści (3 strony), wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów (3 strony), wstęp (3 strony), rozdział pierwszy – aktualny stan zagadnienia dokonany na podstawie przeglądu literatury (50 stron), rozdział drugi – cel, teza, zakres pracy ze wskazaniem problemów badawczych (6 stron), rozdział trzeci – charakterystyka metody zminimalizowanego smarowania (10 stron), rozdział czwarty – opis badań symulacyjnych (30 stron), rozdział piąty – opis badań doświadczalnych (119 stron), rozdział szósty – podsumowanie i wnioski (8 stron), literaturę (16 stron – łącznie 204 pozycje), streszczenie w języku polskim (2 strony), streszczenie w języku angielskim (2 strony). W treści przedstawiono 166 rysunków oraz 43 tabele, które wykonane zostały starannie i przejrzysto, ilustrując opisy zawarte w treści. Objętość rozprawy doktorskiej jest uzasadniona i wynika z potrzeby opisu, zarówno rozważań teoretycznych, jak też realizowanych badań symulacyjno-doświadczalnych wraz z analizą wyników.

Zakres, treść i układ recenzowanej rozprawy doktorskiej uważam w większości za prawidłowy, zgodny z przyjętymi zasadami twórczości naukowej.

Stronę redakcyjną rozprawy doktorskiej oceniam pozytywnie. Mimo to, w ramach opracowanej recenzji zobowiązana jestem do wskazania uwag, które uważam za istotne, stanowiące wskazówkę do przygotowania przyszłych prac naukowo-badawczych z udziałem mgr inż. Natalii Szczotkarz.

W dalszej części recenzji, po syntetycznym scharakteryzowaniu każdego rozdziału, przedstawiam uwagi krytyczne, edytorskie i pytania, które nasunęły się podczas lektury rozprawy doktorskiej. Do wybranych z nich mgr inż. Natalia Szczotkarz będzie miała możliwość się ustosunkować podczas publicznej obrony.

Wstęp przedstawia syntetyczny opis zagadnień obejmujący tematykę rozprawy doktorskiej, w tym ekologiczne metody chłodzenia strefy skrawania podczas obróbki ubytkowej. Przedstawiono zalety i wady metody zminimalizowanego smarowania (*Minimum Quality Lubrication* MQL), zwracając uwagę na konsekwencje zastosowania płynu obróbkowego charakteryzującego się małą przewodnością cieplną, w tym zwiększenie zużycia narzędzia oraz chropowatości powierzchni obrobionej. Rozwiązaniem, które opisane zostało w literaturze przedmiotu, jest m.in. wprowadzanie do płynu obróbkowego nanocząstek, tworząc tzw. nanopłyn. Nie jest to jednak rozwiązanie idealne, gdyż wymaga określenia jaki rodzaj nanocząstek w danym przypadku zastosować, jaką dobrać ich wielkość oraz stężenie. Ważnym aspektem w tym zakresie jest również dobór parametrów tworzenia mgły olejowej, czyli natężenia przepływu objętościowego powietrza oraz natężenia przepływu masowego płynu obróbkowego. Poza tym podkreślono znaczenie prowadzenia badań symulacyjnych, jako istotne w poznawaniu zjawisk występujących przy zastosowaniu metody zminimalizowanego smarowania, ograniczając w ten sposób konieczność prowadzenia badań doświadczalnych. W ostatnim akapicie tego rozdziału mgr inż. Natalia Szczotkarz wskazuje luki badawcze oraz przedstawia w zarysie zakres pracy badawczej.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 11, zdanie „W pracach naukowych przedstawiono” nie podano, których konkretnie prac naukowych to stwierdzenie dotyczy.
- Strona 12, zdanie „Stosując nanopłyn w metodzie zminimalizowania nie można jednak zapomnieć ...” jest niepełne – zminimalizowania czego?

- Strona 12, pierwszy i ostatni akapit zawiera zbyt długie zdania, co powoduje ich nieczytelność.

Rozdział pierwszy **Analiza literatury w zakresie wytyczonym tematem pracy** składa się z czterech kluczowych podrozdziałów: znaczenie i podział płynów obróbkowych stosowanych w obróbce skrawaniem (1.1.), metody zminimalizowanego chłodzenia i smarowania strefy skrawania (1.2), dodatki poprawiające własności płynu obróbkowego (1.3), podsumowanie i wnioski do badań własnych (1.4). Przedstawiono w nim istotne z punktu widzenia tematu rozprawy doktorskiej zagadnienia, podejmowane przez różne zespoły badawcze wskazując luki, które mgr inż. Natalia Szczotkarz postanowiła wypełnić poprzez realizację szerokiego zakresu prac symulacyjno-doświadczalno-analitycznych. Istotną część tego rozdziału stanowi ostatni, podsumowujący podrozdział, w którym przedstawione zostało uzasadnienie zakresu prac w ramach podjętego tematu rozprawy doktorskiej.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Tytuł rozdziału powinien brzmieć „Analiza/Przegląd literatury w zakresie podjętej tematyki”
- Strona 28, zdanie „Stosowanie metody MQCL... zmniejszenie tarcia występującego między przedmiotem obrabianym a ostrzem skrawającym...” powinno brzmieć „Stosowanie metody MQCL... zmniejszenie tarcia występującego między ostrzem narzędzia skrawającego a przedmiotem obrabianym...”, gdyż to narzędzie oddziałuje na przedmiot, który w wyniku tarcia ostrza jest skrawane.
- Strona 29, zdania „Po toczeniu na sucho pojawiły się natomiast pojedyncze, wysokie piki. Należy zauważyć, że powstawanie takich wysokich wierzchołków na powierzchniach współpracujących” są niepełne. Nie napisano, co znaczy „wysokie piki”, co spowodowało ich wystąpienie? Poza tym, czy takie pojedyncze piki są wynikiem obróbki, czy zastosowanej metody pomiaru/braku filtrowania?
- Strona 29, zdanie „Kierunkowość i izotropowość powierzchni także zostały zmniejszone..., natomiast parametry przestrzenne i objętościowe nie uległy żadnej zmianie zarówno w warunkach obróbki na sucho, jak i przy zastosowaniu metody MQCL”. W jaki sposób kierunkowość i izotropowość uległy zmniejszeniu? O jakie konkretnie parametry przestrzenne i objętościowe chodzi? Czy rzeczywiście parametry te nie uległy zmianie, skoro zmianę odnotowano w przypadku kierunkowości i izotropowości?
- Strona 34, zdanie „Natomiast jeżeli realizuje się wiercenie płytkich otworów, dla których spełniona jest zależność $l/D < 3, \dots$ ” Nigdzie w tekście nie ma ani wyjaśnienia oznaczeń, nie ma też rysunku, na którym można byłoby te oznaczenia zidentyfikować.
- Strona 36, zdanie „Źródła literaturowe wskazują, iż na rozprzestrzenianie się chłodziwa po powierzchni wpływa jej chropowatość, powodując jej wzrost.” jest niezrozumiałe. W jaki sposób chropowatość wpływa na rozprowadzenie chłodziwa oraz w jaki sposób następuje wzrost chropowatości i dlaczego? Poza tym nawiązując do źródeł literaturowych, należy je wskazać.
- Strona 41, zdanie „Największe wartości parametrów 2D jak również 3D zaobserwowano dla obróbki na sucho” oraz zdanie „Naukowcy zwrócili uwagę, iż... uzyskano topografię powierzchni obrobionej cechującą się najbardziej równomiernym rozmieszczeniem wierzchołków i dolin”. W przypadku których konkretnie parametrów 2D oraz 3D dokonano przytoczone obserwacje? Raczej powinno się stosować określenie „wzniesień” zamiast „wierzchołków”, a poza tym na jakiej podstawie wysunięto wniosek o sposobie ich rozmieszczenia?
- Strona 46, ostatnie zdanie „Ponadto zaobserwowano, iż obecność emulgatora anionowego w chłodziwie przyczyniła się do zwiększenia nośności, jaką charakteryzował się wytworzony film olejowy”. Czy wiadomo z czego to wynika i jakie to ma znaczenie?
- Rysunki 1.20 oraz 1.21 (strona 49) wymagają szerszego opisu. Ostatni akapit na stronie 49, związany z rysunkiem 1.21, wymaga rozwinięcia.
- W treści rozdziału zdarzają się liczne błędy edytorskie, stylistyczne oraz interpunkcyjne (np. na stronach: 15, 18, 22, 25, 26).

Rozdział drugi **Cele, tezy, zakres pracy i problemy badawcze** podzielony został na cztery podrozdziały, w których przedstawiono zgodnie z tytułem rozdziału: cele pracy (2.1), tezy pracy (2.2), zakres pracy (2.3) oraz problemy badawcze (2.4). Określono trzy główne cele

pracy, w tym cel poznawczy, cel metodyczny i cel użyteczny. Ponadto sformułowano dwie tezy, wskazujące zakres rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Szczotkarz, obejmujący dziewięć głównych punktów. Przypuszczalnie w oparciu o przeprowadzony przegląd literatury przedmiotu, zidentyfikowano problemy naukowo-badawcze, które przedstawiono w formie ośmiu pytań.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 69, rysunek 2.1. Schemat stanowi syntetyczne przedstawienie zakresu rozprawy doktorskiej. Brakuje omówienia tego schematu, np. powiązując jego elementy z problemami badawczymi.
- Zakres pracy (2.3) obejmuje łącznie dziewięć punktów, w tym *przeprowadzenie analizy literaturowej*. Ten punkt został omówiony w ramach rozdziału pierwszego, czego efektem jest określenie celów pracy, sformułowanie dwóch tez oraz zdefiniowanie ośmiu problemów badawczych. Dlatego też po sformułowaniu celów, wystarczyło odnieść się do programu prac symulacyjno-doświadczalno-analitycznych, które pozwolą osiągnąć zaplanowane cele, potwierdzić tezy i rozwiązać problemy badawcze.
- Brakuje podsumowania tego rozdziału, które stanowiłoby płynne przejście do kolejnego rozdziału rozprawy doktorskiej.

Rozdział trzeci **Charakterystyka metody zminimalizowanego smarowania z udziałem nanocząstek zastosowanej w procesie toczenia** przedstawia: istotę metody (3.1), charakterystykę nanocząstek wykorzystywanych w metodzie zminimalizowanego smarowania, jak miedź Cu oraz trójtlenek glinu Al_2O_3 (3.2), parametry tworzenia medium czynnego w metodzie MQL (3.3) z uwzględnieniem opisu i sposobu wzorcowania urządzenia dostarczającego medium czynne w metodzie MQL. Zaprezentowano również wyniki pomiarów w postaci pięciu wykresów, podając ich syntetyczny opis.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Tytuł rozdziału mógłby brzmieć inaczej, np. *Charakterystyka zastosowanej w procesie toczenia metody zminimalizowanego smarowania z udziałem nanocząstek*.
- Strony 71-72 i dalsze. Al_2O_3 to trójtlenek glinu, który raz jest nazywany tlenkiem glinu a innym razem tlenkiem glinu (III). Dobrze byłoby w przyszłości zachować poprawność nazewnictwa i jego konsekwentne stosowanie.
- Strona 72, zdanie „Dzięki kulistemu kształtowi (rys.3.1) Cu zapewnia lepszą stabilność dyspersji, posiadają mniejszy współczynnik tarcia...” jest niepoprawne stylistycznie, a przez to niezrozumiałe. Kształt kulisty czego? – nanocząstek Cu?
- Strona 72, zdanie „Nanocząstki tlenku glinu Al_2O_3 oprócz możliwości tworzenia tribofilmu, wykazują również efekt łożyska kulkowego...”. Na czym polega „efekt łożyska kulkowego”?
- Strona 73, zdanie „Zaobserwowano również, że wielkości nanocząstek Al_2O_3 ma wpływ na przewodność cieplną...” nie jest zrozumiałe.
- **Strona 73, zdanie „To uzasadnia dobór wielkości nanocząstek Al_2O_3 wykorzystywanych do badań opisanych w niniejszej rozprawie doktorskiej” nie zostało w dalszej części pracy rozwinięte, co oznacza, że nie wyjaśniono w oparciu o jakie badania lub opracowania literaturowe dokonano wyboru nanocząstek Al_2O_3 o wielkości 15 nm?**
- Strona 76, zdanie „Dla każdego z 27 ustawień pokręteł regulujących przepływ płynu obróbkowego ...” nie wyjaśnia skąd na wykresach zaprezentowanych na rysunkach 3.6, 3.8 – 3.11 widać od 7 do 12 stopni (pozycji) dla poszczególnych elementów.
- Brakuje podsumowania tego rozdziału, które wskazywałoby na to, co wynika z przedstawionych opisów, jednocześnie stanowiąc płynne przejście do kolejnego rozdziału rozprawy doktorskiej.
- W treści rozdziału zdarzają się zbyt długie zdania, błędy stylistyczne oraz interpunkcyjne.

Rozdział czwarty **Badania symulacyjne parametrów medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania** rozpoczyna wprowadzenie, które wyjaśnia konieczność wykorzystania w badaniach metody obliczeniowej mechaniki płynów CFD. Rozdział składa się z ośmiu podrozdziałów. Zaprezentowano w nim: cel badań symulacyjnych wraz z określeniem

wariantów symulacji (4.1), scharakteryzowano stanowisko wykorzystane w badaniach symulacyjnych (4.2), przedstawiono założenia i uproszczenia modelu matematycznego CFD (4.3), a także scharakteryzowano przyjęty model geometryczny symulowanego układu (4.4) oraz dokonano jego dyskretyzacji (4.5). Dodatkowo, podano warunki realizacji symulacji (4.6), a następnie wyniki badań (4.7) oraz wnioski wynikające z przeprowadzonych badań symulacyjnych (4.8). Na podstawie zrealizowanych badań symulacyjnych dokonano wyboru najkorzystniejszych zdanem mgr inż. Natalii Szczotkarz parametrów tworzenia medium czynnego, ograniczając tym samym realizację badań doświadczalnych w tym zakresie do niezbędnego minimum.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 82, zdanie „Dodatkowo sprawdzono średnicę kropelek... w zależności od usytuowania dyszy od strefy skrawania zmieniając odległość.” Lepiej zapisać „... w zależności od usytuowania dyszy względem strefy skrawania...”.
- **Strona 84, podrozdział 4.3 wymaga uzupełnienia, dotyczącego danych zawartych w Tabeli 4.2. Podano założenia i uproszczenia dla przyjętego modelu matematycznego CFD, ale nie dodano krótkiego nawet opisu co z tego wynika, czemu ma to służyć?**
- Strony 86-87, rysunki 4.4 – 4.6 można było zastąpić jednym rysunkiem, wprowadzając oznaczenia z podaniem zakresu odległości wylotu dyszy od ścianki.
- Strona 92, zdanie „Cząstki w trakcie symulacji mogą jednak ulegać rozbiciu”. Brakuje wyjaśnienia, co z tego wynika?
- Strona 92, podrozdział 4.7.1. Pierwsze zdanie jest zbyt długie, przez co jest niezrozumiałe.
- Strona 98, rysunek 4.13. Ile wykonano powtórzeń realizując badania wpływu natężenia przepływu objętościowego powietrza P na minimalną średnicę kropelek d_{min} ?
- Strony 100-102, tabele 4.8-4.10. Dlaczego przedstawiono wyniki dla trzech wartości P ?
- Strona 103, rysunek 4.14. Ile wykonano powtórzeń realizując badania wpływu natężenia przepływu objętościowego powietrza P na kąt strugi w dyszy α_d ? Dlaczego w tym przypadku wykonano badania dla trzech wartości P ? Poza tym po raz pierwszy na rysunku zostało wprowadzone oznaczenie odległości wylotu dyszy od ścianki s .
- Strona 104, rysunek 4.15. Ile wykonano powtórzeń realizując badania wpływu natężenia przepływu objętościowego powietrza P na kąt strugi w otoczeniu α_{or} ? Dlaczego w tym przypadku wykonano badania dla trzech wartości P ?
- Strona 104, rysunek 4.16. Dlaczego do badań prędkości wektorów powietrza zastosowano parametry $s=0,5m$ oraz $E=0,388g/min$?
- Strona 106, rysunek 4.17. Ile wykonano powtórzeń realizując badania wpływu natężenia przepływu objętościowego powietrza P na prędkość wektorów powietrza v_w ?
- Strona 110, wniosek nr 8. Podano, że „Zrealizowane badania symulacyjne umożliwiły określenie warunków tworzenia medium czynnego na potrzeby realizacji badań doświadczalnych podczas toczenia stopu tytanu Ti6Al4V.” Brakuje informacji, w jakim zakresie określono wspomniane warunki tworzenia medium czynnego?
- W niektórych podrozdziałach brakuje podsumowania (konkludujących zdań), które wskazywałoby na to, co wynika z przedstawionych opisów.
- W treści rozdziału zdarzają się zbyt długie zdania, błędy stylistyczne oraz interpunkcyjne.

W rozdziale piątym ***Badania doświadczalne procesu toczenia z zastosowaniem nanocząstek w metodzie zminimalizowanego smarowania***, zgodnie z tytułem, przedstawiono opis badań doświadczalnych. Po określeniu celu badań doświadczalnych (5.1), omówiono plan badań oraz sposób ich realizacji wraz z opisem stanowiska badawczego i przedmiotu badań (5.2), którym był stop tytanu Ti6Al4V. Omówiono również aparaturę badawczo-pomiarową. Największą uwagę poświęcono wynikom przeprowadzonych badań doświadczalnych, która obejmuje analizę stabilności nanopłynów (5.3.1), analizę drgań narzędzia (5.3.2), analizę sił skrawania (5.3.3), analizę topografii powierzchni obrobionej (5.3.4) oraz analizę zużycia

narzędzia (5.3.5). W podrozdziale 5.4 przedstawiono wnioski wynikające z przeprowadzonych badań doświadczalnych.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- W jaki sposób cel badań doświadczalnych jest powiązany z celami zdefiniowanymi w podrozdziale 2.1?
- **Podrozdział 5.2 zawiera charakterystykę badań doświadczalnych, jednak brakuje w nim kluczowej informacji na temat wyboru zastosowanych w metodzie MQL nanocząstek. Przyjmując, że wytypowane zostały nanocząstki miedzi Cu oraz trójtlenku glinu Al_2O_3 , to na jakiej podstawie i dlaczego dokonano wyboru akuratnie takich czterech wielkości nanocząstek miedzi Cu i stężenie 0,5%, a w przypadku trójtlenku glinu Al_2O_3 nanocząstki o wielkości 15 nm oraz cztery różne stężenia? To dosyć istotna informacja wymagająca uzupełnienia.**
- Strona 116, zdanie „Obszary, w których wykorzystuje się stopy na bazie tytanu obejmują: biomedycynę (ze względu na charakteryzującą je biokompatybilność), ...”. Brakuje podania konkretnych danych – odniesień do literatury, tak jak to zrobiono dla kolejnych obszarów.
- Strona 122. Wymieniając wybrane do analizy parametry opisujące topografię powierzchni obrobionej, używane jest określenie „o ograniczonej skali” – co to oznacza? Poza tym nie wprowadzono opisu dla parametrów objętościowych Vmp , Vmc , Vvc i Vvv . Należy zweryfikować poprawność sformułowań dla poszczególnych parametrów.
- **Strona 123, zdania „... S_p , S_v i S_z . Pomiar tych parametrów powoduje, że cechuje je niepowtarzalność. Dlatego analiza tych parametrów została poprzedzona odpowiednim filtrowaniem...” Co oznacza stwierdzenie „cechuje je niepowtarzalność”? Jaki konkretnie rodzaj filtrowania zastosowano?**
- Strona 123, zdanie „Parametry S_{sk} i S_{ku} zostały wybrane, ponieważ są wrażliwe na charakterystyczne wysokie wzniesienia i głębokie doliny...” Nie napisano z czego wynika wspomniana wrażliwość tych parametrów (są to m.in. wielomiany odpowiednio trzeciego i czwartego stopnia).
- Strona 123, zdanie „Parametry przestrzenne... (S_{vk} – zredukowana głębokość wgłębień)... (S_{pk} – zredukowana wysokość wierzchołków).” Przytaczając parametry S_{vk} i S_{pk} pominięto informację, że są to parametry z grupy S_k , które opisują krzywą Abbott-Firestone.
- Strona 125, zdanie „Każda z badanych płytek skrawających ... była myta w płuczce w celu wyeliminowania wszelkich brudów...” powinno brzmieć „Każda z badanych płytek skrawających ... była oczyszczana z wszelkich zanieczyszczeń w myjce ultradźwiękowej ...”
- Rysunki 5.14-5.23. Z czego wynikają różne typy wykresów (liniowy, słupkowy)?
- Strona 130, zdanie „Na podstawie zależności ... ustalono, iż optymalnym stężeniem masowym nanopłynów o dobrej jakości służących do przeprowadzenia badań eksperymentalnych, będzie stężenie wynoszące 0,5% mas.” Brakuje uzasadnienia podsumowującego, dlaczego?
- Strona 132, akapit „W wyniku oceny stabilności nanopłynów...”. Co oznaczają przeprowadzone obserwacje i jak się przekładają na praktyczne zastosowanie płynów obróbkowych?
- Strona 133, zdanie „Zastosowanie cieczy obróbkowych wywiera istotny wpływ na zjawiska termomechaniczne i trybologiczne w strefie skrawania...”. Zastosowanie określenia „trybologiczne” jest niepoprawne – należy stosować określenie „tribologiczne”.
- Strona 135, zdanie „W pierwszym etapie analizy... oraz charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych (FFT).” Skrót FFT nie został rozwinięty, gdy pojawił się po raz pierwszy, rozwinięcie następuje dwie strony dalej.
- Strona 133, zdanie „Na rys. 5.24-5.27 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe drgań dla obróbki na sucho, przy zastosowaniu metody MQL bez nanocząstek oraz w warunkach zastosowania metody MQL+ Al_2O_3 0,5% 15 nm i MQL+Cu 0,5% 22 nm.” Na jakiej podstawie wybrano te warunki badań do przedstawienia wyników?
- Strony 136-137, rysunki 5.28-5.31. Na przytoczonych rysunkach podano różną skalę wertykalną (oś pionowa), a można było zastosować skalę $0 \div 0,20$ m/s². Sugeruje stosowanie taki sam zakres skali, bo pozwala to na poprawne wnioskowanie.
- Rysunki 5.50-5.52. Na osi poziomej podano metodę chłodzenia strefy skrawania, ale zabrakło informacji na temat charakterystyki, czyli wielkości nanocząstek miedzi Cu oraz trójtlenku glinu Al_2O_3 ?
- Strona 160, rysunek 5.59 i akapit „Analizując poszczególne wartości siły całkowitej podczas obróbki z wykorzystaniem mgły olejowej bez nanocząstek (rys.5.59) zaobserwowano, że jej maksymalną wartość uzyskano w punkcie 6 metody PSI...”. Biorąc pod uwagę dane na rysunku 5.59, punktem, w którym uzyskano maksymalną wartość siły całkowitej F jest punkt 5 ($F=110,2N$), a nie punkt 6 ($F=109N$).

- Strona 166, zdanie „Jednak w każdym przypadku lepsze rezultaty uzyskując stosując mgłą olejową z nanocząstkami niż tradycyjną metodą zminimalizowanego smarowania” jest niezrozumiałe.
- Strona 167, zdanie „Analogicznie do ...”. Przytoczone parametry mają opis niezgodny z wcześniej przyjętym (strona 122). Poza tym należy zwrócić uwagę, że wartość parametru S_z to suma parametrów S_p i S_v , o czym nie wspomniano w treści rozprawy doktorskiej, a jest to istotne przy analizie wyników w dalszej części pracy.
- Strona 172 i 173, rysunki 5.70 i 5.71. Dobrze byłoby wprowadzić gdzieś z boku rysunku 5.1 ze strony 111, aby mieć odniesienie do punktów badań i ich wartości.
- Strona 173, rysunek 5.71. Co oznacza zapis na osi pionowej „ $S_p+S_v, \mu\text{m}$ ” po lewej stronie wykresu? Czy chodzi o przedstawienie dwóch parametrów na jednym wykresie? A jeśli tak, to czego dotyczy odchylenie standardowe zaznaczone na niebieskiej części słupków?
- **Strona 176, zdanie „W przypadku wartości wysokości najwyższego wierzchołka powierzchni o ograniczonej skali S_p (rys. 5.72c) zauważono, że jej zmiany zachodzą podobnie jak dla rozpatrywanego powyżej parametru S_z .” Czy ta zależność nie wynika czasem z faktu, że $S_z = S_p+S_v$?**
- Co oznaczają określenia: asymetria prawostronna, asymetria lewostronna, rozkład mezokurtyczny, rozkład leptokurtyczny, rozkład platokurtyczny? Można było wprowadzić te określenia na początku, wyjaśniając co oznaczają przy jakich wartościach parametrów, a tego brakuje.
- Strona 190, zdanie „...Wskazuje to na obecność dużej ilości wad powierzchniowych w porównaniu zastosowania pozostałych wielkości Cu.” Brakuje informacji, o jaki rodzaj wad powierzchni chodzi?
- Strona 190, zdanie „...Takie ostre wierzchołki mogą ulec zniszczeniu na drodze dekohezji [191]”. Należałoby podać w jakich warunkach eksploatacji będzie miała miejsce wspomniana dekohezja? Również ważne jest z jakich materiałów będą wykonane elementy współpracujące. Uwaga dotyczy podobnych wniosków prezentowanych w dalszej części tego rozdziału.
- Rysunki 5.89-5.91. Czy przygotowując powierzchnie zmierzone do analizy zastosowano usunięcie szumów pomiarowych, wykonując chociażby *thresholding*?
- Strona 196, akapit „Analizując widoki izometryczne powierzchni uzyskanych przy zastosowaniu mgły olejowej zawierającej nanocząstki Cu (rysunek 5.89) obserwuje się obecność wysokich szczytów wraz ze wzrostem ich średnicy. Rozmieszczenie szczytów ma charakter nierównomierny, W przypadku Cu o średnicy 65 nm zakonserwowano też występowanie wysokiego pasma wierzchołków. Wzrost rozmiaru stosowanych nanocząstek prowadzi do zwiększenia wysokości rdzenia...”. Wspomniane wysokie szczyty mogą wynikać z braku zastosowania *thresholding*. Stwierdzenie, że rozmieszczenie szczytów ma charakter nierównomierny zostało podane na podstawie wartości parametru czy wynika z obserwacji obrazów aksonometrycznych? Co oznacza wzrost wysokości rdzenia z punktu widzenia ukształtowania powierzchni?
- Strona 196, zdanie „Również dla najmniejszego stężenia masowego zauważono nieliczne wysokie pasma szczytów, a ponadto trzy głębokie doliny.” Nie zaznaczono tych obserwacji na obrazach aksonometrycznych, a przynajmniej nie wskazano choćby strzałką miejsca zaobserwowanych cech.
- Kilka razy przytoczono stwierdzenie dotyczące powierzchni obrobionej „podczas dalszej eksploatacji” (strona 19, strona 197). Jaka eksploatację Autorka ma na myśli, w jakich warunkach i w kontakcie z jakim innym materiałem?
- Strona 196, zdanie „Parametry udziału materiałowego S_{mr1} i S_{mr2} maleją wraz ze wzrostem stężenia...”. Podane parametry nie zostały wcześniej wymienione, nie podano również ich definicji, a dotyczą one odpowiednio wzniesień i wgłębień na krzywej Abbott-Firestone.
- **Strona 201, rysunek 5.95 przedstawia zużyte narzędzia skrawające. Do którego czasu użytkowania odnoszą się te zdjęcia? W jaki sposób dokonano pomiaru wielkości charakteryzujących zużycie narzędzia skrawającego (brakuje oznaczeń na zdjęciach lub schematu, który by to przedstawiał)?**
- Strona 201, zdanie „Zastosowanie najmniejszych rozmiarów nanocząstek miedzi w nanopłynie spowodowało zmniejszenie szerokości krateru około 9% w porównaniu do większych nanocząstek.” W jaki sposób to zostało oszacowane? Gdzie to można zobaczyć?
- W podrozdziale 5.3.5 dotyczącym analizy zużycia narzędzia skrawającego podano różne mechanizmy zużycia. Jednak wcześniej nigdzie nie wprowadzono czym każdy ze zidentyfikowanych mechanizmów się charakteryzuje, czego jest wynikiem, jak wygląda, itp.
- Wykresy na rysunkach 5.95, 5.96, 5.101, 5.102, 5.107, 5.108 powinny na osi czasu t prezentować czas, który opisywany jest w treści pracy, czyli 6 min, 12 min, itd., co ułatwiłoby interpretacje przedstawionych wyników na wykresach.
- Strona 225, wniosek nr13, „...co świadczy o większym ciśnieniu medium czynnego, które jest w stanie skuteczniej odprowadzać wióry w trakcie obróbki oraz zapewniać jego korzystny kształt, co zapewnia większą jakość powierzchni obrobionej...”. Co znaczy określenie „większa jakość”?

- Strony 225-226, wnioski 14 i 15. Jak te wnioski odnoszą się do zależności $Sz=Sp+Sv$?
- **Strona 226, wniosek nr17 i nr18. Pisząc o wadach powierzchni, jaki rodzaj wad Autorka ma na myśli? Poza tym pisząc w ostatnim zdaniu tego wniosku nr17 „Wartość Ssk zbliżoną najbardziej do zera zaobserwowano dla stężenia nanocząstek Al_2O_3 wynoszącego 0,5%”, o czym można wywnioskować?**
- Strona 227, wniosek nr19. O czym świadczy wartość parametru Sk opisującego wysokość rdzenia?
- W treści podrozdziału 5.3 raz podawane jest oznaczenie parametrów, nanocząstek czy rodzaju smarowania, a innym razem pełna nazwa, co wprowadza niepotrzebne zamieszanie i utrudnia czytanie pracy. Raz wprowadzone oznaczenia (najczęściej w miejscu, gdzie po raz pierwszy zostały podane), powinny być konsekwentnie stosowane w treści pracy.
- W niektórych podrozdziałach brakuje podsumowania (konkludujących zdań), które wskazywałoby na to, co wynika z przedstawionych opisów.
- W treści rozdziału zdarzają się zbyt długie zdania, błędy stylistyczne oraz interpunkcyjne.

Na uznanie zasługuje odnośnienie się w dyskusji większości wyników badań własnych do wyników prac innych autorów.

Rozdział szósty przedstawia **Podsumowanie i wnioski**, stanowiąc jednocześnie podsumowanie rozprawy doktorskiej. Po krótkim wprowadzeniu, uzasadniającym realizację badań symulacyjnych i doświadczalnych w ramach podjętego tematu rozprawy doktorskiej, omówione zostały wnioski poznawcze, metodyczne i użytkowe, zebrane odpowiednio w dziesięciu, czterech i pięciu punktach. Zdaniem mgr inż. Natalii Szczotkarz wraz z wynikami zrealizowanych badań potwierdziły one sformułowane w podrozdziale 2.2. tezy pracy. W podrozdziale 6.4 nawiązano do kierunku dalszych badań, natomiast w podrozdziale 6.5 sformułowano pięć wniosków końcowych.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 231, zdanie „Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów sformułowano wnioski poznawcze, metodyczne, użytkowe oraz dotyczące dalszych badań” powinno raczej brzmieć „Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów sformułowano wnioski poznawcze, metodyczne, użytkowe oraz wyznaczono kierunki dalszych prac naukowo-badawczych”.
- Strona 231, wniosek poznawczy nr 8 „... W tych warunkach powierzchnia charakteryzowała się równomiernym rozłożeniem szczytów i dolin oraz brakiem występowania wad powierzchniowych. Zastosowanie wymienionej metody chłodzenia spowodowało zmniejszenie wartości wybranych parametrów...”. Powinno się raczej stosować określenie „wzniesienia” zamiast „szczyty”. Czy na pewno nie występowały na powierzchni żadne wady powierzchniowe? Jakiego rodzaju wad powierzchniowych nie dostrzeżono? Pisząc o wybranych parametrach, należy napisać, o które parametry chodzi?
- Strona 233, wniosek użytkowy nr 10 jest niezrozumiały „...stwierdzono bardzo duże podobieństwa ...” czego do czego? Poza tym zdanie jest zbyt długie i jego znaczenie jest niezrozumiałe.
- **Strona 234, wniosek metodyczny nr 3 jest niezrozumiały „...które mają znaczenie w szczególności przy topografii powierzchni, gdzie zaobserwowano największe różnice zarówno w parametrach ilościowych jak i opisie jakościowym topografii powierzchni obrabianej”. O jakie różnice chodzi, z czego one wynikają? Poza tym co oznacza określenie „parametry ilościowe”? Może chodzi o opis parametryczny (ilościowy) i opis nieparametryczny (jakościowy)?**
- Strona 234, wniosek użytkowy nr 2 zawiera informację „... ponieważ zgodnie z badaniami medycznymi,...” O jakie badania medyczne chodzi, kto je wykonywał, gdzie zostały opublikowane?
- Strony 234-235, wniosek użytkowy nr 3. „...Zastosowanie najmniejszych nanocząstek ... spowodowało również uzyskanie najmniejszych wartości parametrów objętościowych powierzchni obrabianej, co świadczy o większej nośności takiej powierzchni. Topografia powierzchni... charakteryzowała się również najmniejszą liczbą wad powierzchniowych (parametry Sku i Ssk) oraz najbardziej równomiernym rozłożeniem dolin i wzniesień...”. Pisząc o parametrach objętościowych, należy podać konkretnie, o które parametry chodzi i w jaki sposób wartość tych parametrów przekłada się na nośność powierzchni? Który parametr opisuje jaką cechę topografii powierzchni?
- Strona 235, wniosek użytkowy nr 4. Zdania są zbyt długie, przez co są niezrozumiałe. Poza tym, czy ten wniosek nie powinien być w grupie wniosków poznawczych, co wynika z opisu, patrząc na zdania od „Przy zastosowaniu...”?

- Strona 236, zdanie „Wyniki zrealizowanych badań, a także treść powyższych wniosków końcowych pozwalają stwierdzić, że dowiedziono prawidłowości przedstawionych w pracy tez” jest niezrozumiałe. Wnioski końcowe zawiera podrozdział 6.5, a poza tym dobrze byłoby coś więcej napisać odnośnie potwierdzenia poprawności przyjętych tez pracy.
- Opis kierunków dalszych prac naukowo-badawczych powinny stanowić ostatni podrozdział rozdziału szóstego (czyli 6.5). Natomiast opis wniosków końcowych, powinien zostać przedstawiony bezpośrednio po wnioskach poznawczych, metodycznych i użytecznych jako podrozdział 6.4.

Literatura obejmuje zestawienie łącznie 204 pozycji, w tym 8 książek oraz 196 artykułów naukowych i innych opracowań. Wśród przytoczonych pozycji literaturowych jest 8 pozycji opracowanych w języku polskim, 196 pozycji w języku angielskim; 85 pozycji zostało opublikowanych w ciągu ostatnich 5 lat (od roku 2019). **Dobór literatury uważam za poprawny i aktualny. Na uwagę zasługuje powołanie się w rozprawie doktorskiej na opracowania autorskie/współautorskie z udziałem mgr inż. Natalii Szczotkarz.**

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Odczuwalny jest niedosyt przytoczenia wyników prac opublikowanych przez polskie zespoły badawcze w polskich wydaniach czasopism lub opracowaniach książkowych.
- Niektóre pozycje literaturowe mają niekompletne dane – np. brakuje nazwy wydawnictwa, roku opublikowania.

PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana **rozprawa doktorska nt. Analiza parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami podczas obróbki stopu tytanu Ti6Al4V** jest aktualnym oraz wartościowym opracowaniem, dotyczącym zagadnień procesu obróbki trudnoskrawalnych materiałów w warunkach ograniczonego smarowania, z zastosowaniem medium czynnego wzbogaconego nanocząstkami. **Przedstawiony materiał symulacyjno-doświadczalno-analityczny jest oryginalnym dorobkiem mgr inż. Natalii Szczotkarz, opracowanym na wysokim poziomie merytorycznym, który wpisuje się w zakres dziedziny nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

Prace symulacyjno-doświadczalno-analityczne podjęte przez mgr inż. Natalię Szczotkarz pozwoliły na rozwiązanie sformułowanych w rozprawie doktorskiej problemów naukowo-badawczych, uzupełniając wiedzę w obszarze obróbki ubytkowej materiałów trudno-skrawalnych, przede wszystkim w zakresie zmiennych parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania (m.in. natężenie przepływu masowego oleju, natężenie przepływu objętościowego powietrza), wpływu właściwości medium czynnego (rodzaj, wielkość i stężenie masowe nanocząstek) na parametry obróbki oraz charakterystykę powierzchni obrobionej i mechanizm zużycia narzędzia skrawającego.

Przedstawione w rozprawie doktorskiej informacje, badania, analiza i dyskusja wyników oraz wnioskowanie wskazują, że **mgr inż. Natalia Szczotkarz orientuje się w bibliografii przedmiotu oraz posiada wiedzę i doświadczenie badawcze niezbędne do formułowania i rozwiązywania problemów naukowych, jak również realizowania zaplanowanych prac symulacyjno-doświadczalno-analitycznych w ramach podjętej tematyki.**

Na podkreślenie zasługuje **konsekwencja w realizacji programu badań, wymagająca od mgr inż. Natalii Szczotkarz dużego zaangażowania, dobrej organizacji pracy oraz umiejętności analitycznych.** Przedstawiony w rozprawie doktorskiej zakres badań jest przemyślany i uzasadniony, stanowiąc przyczynek do ich kontynuowania w ramach dalszej działalności naukowo-badawczej mgr inż. Natalii Szczotkarz.

Część z przedstawionych w recenzji rozprawy doktorskiej uwag ma charakter polemiczny i nie wpływa na ocenę merytoryczną poziomu jej opracowania. W związku z tym, **rozprawę doktorską mgr inż. Natalii Szczotkarz w ogólnym odbiorze oceniam pozytywnie.**

Na podstawie przedstawionej recenzji **stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Szczotkarz nt. *Analiza parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami podczas obróbki stopu tytanu Ti6Al4V* spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony w ramach dyscypliny naukowej *inżynieria mechaniczna.***

Magdalena
Niencka-Ujele