

Prof. dr hab. inż. Wojciech Zębala

Katedra Inżynierii i Automatykacji Produkcji

Wydział Mechaniczny

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

RECENZJA

pracy 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*”

Promotor: dr hab. inż. Witold Habrat, prof. PRz

Podstawa opracowania: zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z dnia 18.01.2023 roku.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska zawiera 161 stron numerowanych formatu A4, 83 rysunki i wykresy oraz 42 tabele. Spis literatury zawiera 172 pozycje – głównie są to artykuły w języku angielskim z ostatnich 8 lat.

Praca mgr inż. Joanny Lisowicz podzielona jest na 6 rozdziałów, poprzedzonych spisem treści, wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów oraz wstępem. Pierwszy rozdział pracy zawiera przegląd literatury, w którym dokonano charakterystyki tytanu i jego stopów, przedstawiono przykładowe obszary zastosowania stopów tytanu w różnych gałęziach przemysłu. Dokonano też charakterystyki skrawalności, sposobów chłodzenia i smarowania w procesach obróbki skrawaniem. Więcej uwagi przeznaczono na opis składu chemicznego cieczy chłodząco-smarującej, szczególnie stosowanych podczas skrawania w warunkach MQL.

W rozdziale drugim przedstawiono problematykę badawczą, cel pracy, hipotezy naukowe, oraz zakres badań i analiz. Stanowisko badawcze, charakterystyka materiału obrabianego oraz narzędzi zastosowanych do prac eksperymentalnych przedstawiono w rozdziale trzecim. W rozdziale czwartym zawarto opis badań wstępnych oraz analizę wyników tych badań, w ramach których dokonano między innymi porównania wpływu trzech różnych cieczy zastosowanych w warunkach MQL podczas toczenia wykończeniowego stopu tytanu Ti-6Al-4V na składowe całkowitej siły skrawania oraz parametry chropowatości powierzchni Sa i Sz. Badania wstępne posłużyły do doboru cieczy smarującej jako cieczy bazowej do dalszych badań zasadniczych.

Rozdział piąty przedstawia wyniki badań zasadniczych. Podsumowanie badań i analiz wraz z wnioskami końcowymi znajdują się w ostatnim rozdziale szóstym. Literatura oraz załącznik znajdują się w na końcu pracy doktorskiej. Autorka dołączyła również dwa streszczenia pracy w językach polskim i angielskim.

Przedstawiona do zaopiniowania praca doktorska dotyczy istotnego zagadnienia jakim jest zastosowanie odpowiedniego systemu chłodzenia w procesie obróbki trudnoskrawalnego materiału. Przetwarzanie takich materiałów sprzyja generowaniu wysokich temperatur na styku narzędzia i powierzchni obrabianej. To z kolei powoduje konieczność dostarczania coraz większej ilości środka chłodząco-smarującego, przyczyniając się do wzrostów ogólnych kosztów produkcji oraz negatywnego oddziaływania na środowisko. Dozowanie niewielkiej, rozproszonej ilości chłodziwa w przypadku stosowania metody MQL umożliwia równomierne rozprowadzanie go w strefie skrawania, co chroni narzędzia przed szokiem termicznym, związanym z dostarczeniem w danym momencie dużej ilości czynnika chłodząco-smarującego gwałtownie obniżającego temperaturę ostrza narzędzia i przedmiotu obrabianego.

Wobec powyższego, uważam zakres merytoryczny pracy doktorskiej za celowy.

W pracy doktorskiej określono wpływ stężenia GMP (graphite micro-powder) w cieczy chłodząco-smarującej na skrawalność stopu Ti-6Al-4V. Opracowano i zbudowano urządzenie służące do tworzenia mgły olejowej, które pozwala na utrzymywanie stałego wydatku cieczy, zawierającej mikrometryczny proszek z grafitu płatkowego. W badaniach toczenia w warunkach MQL zastosowano dwie cieczy bazowe: adypinian bis oraz tereftalan bis. Opracowano również modele opisujące zależność pomiędzy parametrami skrawania i

stężeniem masowym mikrometrycznego proszku a składowymi całkowitej siły skrawania i wybranymi parametrami chropowatości powierzchni.

Układ pracy doktorskiej jest logiczny i przejrzysty, podział na rozdziały jest merytorycznie uzasadniony.

Osią konstrukcyjną pracy doktorskiej są sformułowane przez Autorkę dwie hipotezy badawcze pracy: *„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 pogorszenia stanu technologicznej warstwy wierzchniej”* oraz *„Możliwe jest zamodelowanie związków pomiędzy parametrami nastawnymi procesu, tj. prędkości 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 ”*. Tak sformułowane hipotezy są mało precyzyjne. Co oznacza sformułowanie *„oddziałuje korzystnie”* i w jakich warunkach można taką hipotezę potwierdzić lub zanegować? Hipoteza 2 jest banalna, proponuję w miejsce stwierdzenia, że *„możliwe jest zamodelowanie związków pomiędzy parametrami nastawnymi procesu”*, napisać, że *„istnieje związek pomiędzy parametrami nastawnymi, który można przedstawić w postaci modelu matematycznego”*.

W literaturze fachowej opisano szereg badań potwierdzających istotny wpływ odpowiednio wydajnego systemu chłodzenia na skrawalność stopu tytanu. Chłodzenie mgłą olejową strefy skrawania bezpośrednio przekłada się na efektywność całego procesu obróbki skrawaniem. Umożliwia bowiem stosowanie wyższych prędkości skrawania bez obaw o obniżenie żywotności narzędzi czy jakości obróbki. Ponadto chłodziwo to, dzięki niewielkiej zawartości oleju i strukturze mgiełki jedynie w niewielkim stopniu osadza się na narzędziach, tworząc cienką, neutralną powłokę, która nie wymaga długotrwałego usuwania. Dobra znajomość zjawisk fizykalnych, zachodzących podczas obróbki skrawaniem, w szczególności procesów tribologicznych mających miejsce w strefie styku ostrza z materiałem obrabianym (powierzchnia natarcia – wiór, powierzchnia przyłożenia powierzchnia obrobiona) pozwala na opracowanie dokładnych modeli procesu dekohezji, tworzenia się wióra i charakteru jego spływu po powierzchni natarcia, i tym samym umożliwia prawidłowy dobór parametrów

skrawania z uwagi na określone kryterium optymalizacyjne np. strukturę geometryczną powierzchni, wydajność czy ekonomikę obróbki.

Z tego względu wybór tematyki pracy uważam za ważny dla rozwoju omawianej dziedziny a temat pracy za poprawnie sformułowany.

Recenzowana praca doktorska została opracowana starannie, choć Doktorantka nie uchroniła się od drobnych błędów, które przedstawiam w punkcie 2 tej recenzji. Niemniej tekst jest przejrzysty, argumentacja jasna, a strona formalna dobrze przygotowana.

Na dodatkowe wyjaśnienie zasługuje wybór określonych wskaźników skrawalności. Doktorantka wytypowała do oceny jakości procesu skrawania parametry chropowatości powierzchni obrobionej S_a oraz S_z . Są to poprawne i powszechnie stosowane parametry. Brak jest jednak odniesienia do konkretnego przypadku obróbki, gdzie określone parametry chropowatości mogą potwierdzić lub zanegować dobrą jakość powierzchni obrobionej. Analiza topografii powierzchni pozwala zrozumieć procesy zachodzące w różnych aplikacjach, tak więc w niektórych przypadkach obróbki parametry chropowatości pozwalające na lepszą analizę np. transferu ciepła przez obszary kontaktu, adhezji czy analizy rys mogą lepiej opisywać pozytywne lub negatywne skutki przebiegu procesu toczenia. Zwłaszcza, że Doktorantka wspomina w propozycjach dalszych prac badawczych rozszerzenie mierzonych parametrów chropowatości o parametry lepiej opisujące właściwości morfologii powierzchni.

Pozytywnie oceniam fakt zastosowania w badaniach sposobu doprowadzenia mgły olejowej wewnętrznym kanałem w oprawce narzędzia. Aby zapewnić odpowiedni poziom chłodzenia i smarowania, mgła olejowa musi być bowiem natryskiwana precyzyjnie w miejsce skrawania. W przeciwnym razie siły tarcia działające na ostrze narzędzia skrawającego doprowadzą do wytworzenia się na styku narzędzia i obrabianego przedmiotu wysokiej temperatury, zbliżonej do tej powstającej podczas obróbki „na sucho”. Może to nie tylko zmniejszyć trwałość samego narzędzia, ale też znacznie obniżyć jakość obróbki.

Doktorantka zastosowała narzędzie skrawające bez powłoki ochronnej, co tłumaczyła eliminacją wpływu zużycia tej powłoki na wyniki badań. Niemniej obecnie produkowane narzędzia skrawające w większości przypadków posiadają odpowiednio skomponowane wielowarstwowe powłoki ochronne obniżające współczynnik tarcia oraz chroniące narzędzie przed wnikaniem do niego dużej ilości ciepła. Celowym byłoby sprawdzenie wpływu mgły olejowej na efektywność obróbki w przypadku takich narzędzi.

2. Ważniejsze uwagi szczegółowe

- W wykazie ważniejszych oznaczeń i skrótów powinno się stosować pełną nazwę na składowe wektora siły skrawania tj. składowa główna całkowitej siły skrawania, składowa posuwowa całkowitej siły skrawania oraz składowa odporowa całkowitej siły skrawania.
- Str.7, 7-my wiersz od góry – „*wysoka temperatura skrawania*”, raczej w strefie skrawania.
- Str.7, 6-ty wiersz od dołu oraz podobnie w innych miejscach pracy autorka używa określenia „*obrabialność*” – powinno używać się określenia skrawalność, ponieważ obrabialność jest pojęciem szerszym, a praca dotyczy tylko toczenia czyli obróbki skrawaniem.
- Str.55 – w celu pracy podano „..... *na stan technologicznej warstwy wierzchniej....*” . Co to oznacza? Termin technologicznej jest bardzo szeroki, np. zmiany strukturalne WW, zmiana rozkładu mikrotwardości, czy naprężeń.
5-ty wiersz od dołu: sformułowanie „...*może oddziaływać korzystnie ...*” jest niejasne.
- Str. 59 – brak danych wytrzymałościowych stopu tytanu użytego do badań, np.: wytrzymałości na rozciąganie, twardości, itp. Jest to istotne z uwagi na duży rozrzut właściwości mechanicznych w zależności od zastosowanej obróbki cieplnej.
- Str. 60 – Brak opisu stereometrii płytki skrawającej w układzie roboczym. Podanie symbolu płytki i oprawki jest niewystarczające.
- Str. 69, 70 – opisy na rys. 4.5, 4.6, 4.7 są mało czytelne

Uwagi dotyczące w większości przypadków błędów stylistycznych oraz poprawy przejrzystości tekstu pominąłem w tej recenzji, gdyż nie mają one wpływu na ogólną ocenę pracy.

Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć recenzowanej rozprawy można zaliczyć:

1. Zbudowanie oryginalnego urządzenia, służącego do tworzenia mgły olejowej, pozwalającego na utrzymywanie stałego wydatku cieczy, przystosowanego do pracy

z cieczami o lepkości kinematycznej do 41 mm²/s oraz zawierającymi mikrometryczny proszek z grafitu płatkowego.

2. Na podstawie laboratoryjnych badań eksperymentalnych Doktorantka sformułowała szereg wniosków szczegółowych dotyczących między innymi:
 - określenia największej trwałości ostrza w przypadku zastosowania cieczy na bazie adypinianu bis z dodatkiem 0,30% mikrometrycznego proszku z grafitu płatkowego, zwiększenia trwałości ostrza o około 13% w stosunku do obróbki z czystą cieczą bazową oraz 115% w stosunku do obróbki na sucho.
 - określenia wartości parametrów skrawania i stężenia cieczy do osiągnięcia najmniejszych wartości składowych całkowitej siły skrawania.
 - określenia najbardziej korzystnego kształtu wiórów pod względem bezpieczeństwa pracy.

Wnioski z badań eksperymentalnych mają znaczenie użytkowe, gdyż umożliwiają istotną poprawę skrawalności stopu tytanu w różnych zastosowaniach aplikacyjnych procesu toczenia.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana praca zawiera, poza analizą stanu wiedzy, analizę teoretyczną oryginalnego problemu naukowego wraz z opisem badań na oryginalnym stanowisku badawczym.

Uzyskane wyniki potwierdzają hipotezy badawcze pracy (z zastrzeżeniem do ich treści o czym wspomniałem na początku tej recenzji) i mają duże znaczenie dla rozwoju wiedzy o zjawiskach tribologicznych zachodzących podczas obróbki materiałów trudnoskrawalnych, szczególnie stopów tytanu Ti-6Al-4V, stosowanych w różnych gałęziach przemysłu.

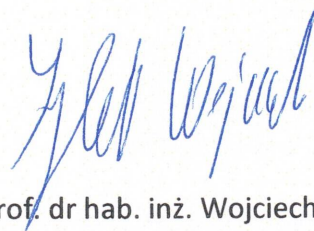
Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, opanowała bardzo dobrze najnowsze metody badań eksperymentalnych i zaprezentowała umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz wnikliwej analizy uzyskanych wyników.

Wymienione uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i nie wpływają zasadniczo na moją pozytywną ocenę całej rozprawy.

Tematyka rozprawy odpowiada dyscyplinie naukowej „Inżynieria Mechaniczna”.

3. Wniosek końcowy

Na podstawie dokonanej oceny 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” stwierdzam, że Doktorantka wykazała się umiejętnością prowadzenia badań naukowych, przeprowadziła złożone eksperymenty i obliczenia, a praca stanowi opracowanie naukowe o odniesieniach praktycznych. **W mojej ocenie praca doktorska całkowicie spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. poz. 1668, z 2018 roku z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony na Wydziale Mechanicznym Politechniki Rzeszowskiej.**



Prof. dr hab. inż. Wojciech Zębala

