

dr hab. inż. Tomasz Dziubek, prof. PRz  
Politechnika Rzeszowska  
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa  
Katedra Konstrukcji Maszyn  
Al. Powstańców Warszawy 12  
35-959 Rzeszów

Rzeszów, 21.04.2023

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**mgr inż. Natalii SZCZOTKARZ**

### **pt. „ANALIZA PARAMETRÓW TWORZENIA MEDIUM CZYNNEGO W METODZIE ZMINIMALIZOWANEGO SMAROWANIA Z NANOCZĄSTKAMI PODCZAS OBRÓBKİ STOPU TYTANU Ti6Al4V”**

#### **Podstawa recenzji**

Pismo dr hab. inż. Justyny Patalas-Maliszewskiej, prof. UZ, Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego z dnia 30.03.2023 roku, nr IIM-D.51.511.3.2023.JG. oraz umowy dotyczącej wykonania recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Natalii Szczotkarz pt. Analiza parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami podczas obróbki stopu tytanu Ti6Al4V.

#### **1. Wprowadzenie**

Tematyka przedstawionej do recenzji dysertacji dotyczy badań mających na celu określenie wpływu medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami podczas obróbki skrawaniem stopu tytanu Ti6Al4V. Recenzowana praca doktorska obejmuje analizę wpływu parametrów tworzenia medium czynnego oraz rozmiaru i stężenia masowego nanocząstek na wybrane wskaźniki skrawalności toczenia tytułowego materiału. Opracowane analizy obejmowały badania w warunkach metody MQL bez nanocząstek oraz z nanocząstkami miedzi i tlenku glinu (III), a także obróbki na sucho.

Zagadnienia związane z procesami obróbki skrawaniem mimo olbrzymiego rozwoju technik przyrostowych są w dalszym ciągu nieodzownym i często niezastąpionym etapem procesu wytwórczego części maszyn i urządzeń. W wielu przypadkach nie jest możliwa ich eliminacja, co wynika przykładowo z wymagań dotyczących dokładności kształtowanej geometrii oraz wielu innych czynników. Nieodzownym elementem tego rodzaju obróbki mechanicznej są prawidłowo dobrane procesy smarowania oraz chłodzenia narzędzia, a tym samym materiału obrabianego. Ich wpływ jest bardzo istotny ze względu na uzyskanie wymaganej dokładności obrabianych powierzchni, ale również na trwałość stosowanych narzędzi. Dzięki zastosowaniu odpowiednich warunków smarowania i chłodzenia możliwe jest zwiększenie wydajności procesu obróbki poprzez zwiększenie prędkości skrawania. Niezbędne w tym celu jest ustalenie odpowiedniego składu chemicznego cieczy chłodząco-smarujących, zapewniającego uzyskanie ww. efektów. Dodatkowo biorąc pod uwagę czynniki związane z ochroną środowiska nieodzownym jest stosowanie takich związków chemicznych, które będą dla niego obojętne lub chociaż w minimalnym stopniu szkodliwe i możliwe do utylizacji.



Biorąc powyższe pod uwagę należy uznać, że przedstawione w dysertacji zagadnienia są aktualne, a podjęcie opisanych terminów badawczych jest w pełni uzasadnione z punktu widzenia rozwoju nauki. Wyniki badań zawartych w rozprawie mają potencjał aplikacyjny możliwy do zastosowania w praktyce przemysłowej w branżach związanych z budową i eksploatacją maszyn oraz przemysłem lotniczym, kosmicznym czy samochodowym, jak również w medycynie.

## 2. Charakterystyka ogólna rozprawy

Przedmiotowa praca mgr inż. Natalii Szczotkarz liczy 258 stron i składa się z 6 ponumerowanych rozdziałów oraz wstępu, który nie jest objęty numeracją podobnie jak zawarta w pracy bibliografia liczącą 204 pozycje literaturowe. W opracowaniu zamieszczone zostało także streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz skrótów i oznaczeń. Kolejność rozdziałów i podrozdziałów tworzy logiczny i spójny układ, a kolejno przedstawiane treści rozwijają i uzupełniają myśli zawarte w częściach poprzedzających. Zawartość pracy jest odpowiednio i starannie zilustrowana, co pomaga we właściwym zrozumieniu zawartości merytorycznej. Dysertacja doktorska opisuje kompleksowo w sposób teoretyczny i doświadczalny zagadnienia przedstawione w tytule i sformułowane jako cel i zakres pracy.

Pracę rozpoczyna krótki wstęp, w którym Doktorantka przedstawia zagadnienia związane z właściwościami tytułowego stopu, metodami chłodzenia i smarowania MQL strefy skrawania i ich wpływu na sam proces obróbki oraz rodzajów samych płynów. Omówione zostały również skrótowo kwestie związane z metodami symulacyjnymi dla metody zminimalizowanego smarowania.

Rozdział pierwszy przedstawia analizę literaturową wykonaną pod kątem tematyki podejmowanej w niniejszej pracy. Ukazany został podział płynów obróbkowych oraz ich znaczenie w procesie obróbki skrawaniem, metody zminimalizowanego smarowania i chłodzenia (MQL, MQCL), uwzględnione zostały także zagadnienia związane ze sposobami dostarczenia medium czynnego dla analizowanych metod smarowania i chłodzenia. Analizie poddano również tematykę dotyczącą parametrów tworzenia medium czynnego dla metod MQL i MQCL. Autorka dokonała również przeglądu dodatków poprawiających właściwości płynu obróbkowego. Rozdział kończy syntetyczne podsumowanie oraz wnioski definiujące kierunki badań własnych. Rozdział ten stanowi właściwie analizę stanu zagadnienia, będącą podstawą do sformułowania tezy, celu i zakresu dysertacji.

W rozdziale drugim Doktorantka sformułowała cele pracy, które podzielono na poznawczy, metodyczny oraz użyteczny. Dotyczą one odpowiednio analizy symulacji w metodzie zminimalizowanego smarowania oraz chłodzenia, opracowania i weryfikacji doboru parametrów tworzenia medium czynnego, a także zdefiniowaniu wytycznych dotyczących paramentów przepływów dla procesu obróbki stopu tytanu Ti6Al4V. Dodatkowo postawione zostały dwie tezy dotyczące wartości parametrów medium czynnego i ich wpływu na proces obróbki oraz wpływu na wybrane wskaźniki skrawalności wielkości i stężenia masowego nanocząstek zawartych w płynie obróbkowym. W rozdziale tym przedstawiony został również zakres niniejszej pracy oraz podane problemy badawcze.

Rozdział trzeci zawiera charakterystykę metody zminimalizowanego smarowania w procesie toczenia z zastosowaniem czynnika zawierającego nanocząstki. Autorka przedstawiła istotę metody oraz charakterystykę nanocząstek, po czym dokonała opisu parametrów tworzenia medium czynnego dla metody MQL wraz z opisem urządzenia Lubrimat L60 służącego do tworzenia mgły olejowej oraz jego wzorcowania.



Rozdział czwarty to badania symulacyjne parametrów medium czynnego dedykowane dla metody zminimalizowanego smarowania z zastosowaniem metody obliczeniowej mechaniki płynów CFD. W rozdziale tym przedstawiony został cel badań symulacyjnych, a na podstawie przyjętych założeń opracowany został model geometryczny symulowanego układu. Autorka dokonała opisu procesu dyskretyzacji modelu i zgodnie z przyjętymi warunkami przeprowadziła odpowiednie symulacje, których wyniki zostały podsumowane w ostatnim podrozdziale wraz z wnioskami dotyczącymi wykonanych symulacji.

W rozdziale piątym (najobszerniejszym) przedstawione zostały badania doświadczalne wykonane dla procesu toczenia próbek badawczych stopu tytanu Ti6Al4V z zastosowaniem nanocząstek w metodzie zminimalizowanego smarowania. Opisany został cel badań wraz z planem badawczym, warunkami prowadzenia badań, charakterystyka stanowiska badawczego oraz zastosowanymi w nich materiałami. Została również obrazowo przedstawiona i opisana zastosowana aparatura pomiarowa. Na podstawie opisanego oprzyrządowania oraz procesu badawczego Autorka uzyskała szereg wyników dotyczących stabilności nanopłynów, drgań narzędzia czy sił skrawania, poprzez analizy topografii powierzchni obrabianej oraz analizy zużycia narzędzia. Całość rozdziału poparta jest graficzną reprezentacją otrzymanych wyników badań oraz ich szerokim opisem, na podstawie których Doktorantka wyciągnęła i przedstawiła trafnych szereg wniosków dotyczących procesu zaplanowanego badawczego.

Rozdział szósty zawiera podsumowanie i wnioski odniesione do osiągnięcia naukowego niniejszej rozprawy oraz szereg spostrzeżeń wynikających z szerokiego zakresu wykonanych prac badawczych i szczegółowych analiz opartych na otrzymanych wynikach. Wnioski analogicznie jak cele pracy zostały podzielone na poznawcze, metodyczne oraz użytkowe, z uwzględnieniem wniosków dotyczących kierunków dalszych badań, a całość pracy domykają syntetyczne wnioski końcowe.

Zamieszczona Literatura obejmuje przede wszystkim artykuły naukowe, ale również wydawnictwa zwarte oraz książki. W sumie w niniejszej pracy odwołano się do 204 pozycji bibliograficznych, z których większość stanowi aktualne opracowania odnoszące się do tematyki dyplomacji.

### **3. Ocena rozprawy doktorskiej**

Tematyka i zakres przeprowadzonych badań przedstawionych w rozprawie dotyczą analizy parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami dedykowanego dla obróbki stopu tytanu Ti6Al4V realizowanej w procesie toczenia. Przedstawiona do oceny praca zawiera bardzo bogaty materiał badawczy przedstawiający znacznie więcej informacji niż można by wnioskować na podstawie samego tytułu. Z drugiej strony tytuł został sformułowany w sposób ogólny określający obróbkę tytanu, nie precyzując jej rodzaju, a wszystkie wykonane analizy realizowane w trakcie badawczego procesu obróbki odnoszą się do toczenia. Stąd też można poddać pod dyskusję czy nie lepiej byłoby podać precyzyjnie w tytule pracy rodzaju obróbki analizowanej w procesie badawczym, gdyż dowiadujemy się o tym dopiero w rozdziale drugim, w celu użytkowym i to w sposób niejednoznaczny. Precyzyjnie informacja ta zostaje podana dopiero w tytule trzeciego rozdziału. Dodatkowo analizując treść pracy w odniesieniu do tytułu można stwierdzić, że Doktorantka przedstawiła znacznie więcej analiz wyników badań niż tylko analiza parametrów tworzenia medium czynnego, a drugiej strony uogólniła kwestię dokładności



geometrii elementów wytworzonych w procesie badawczym skupiając się jedynie na analizie topografii powierzchni obrabianej.

Przedstawiona we wstępie oraz rozdziale pierwszym analiza literatury została przedstawiona pod kątem tematyki podjętej w pracy w bardzo szeroki sposób traktuje zagadnienia związane z metodami chłodzenia i smarowania strefy obróbki oraz przygotowania i składu chemicznego czynników smarująco-chłodzących. Autorka przedstawia w tym zakresie dysertacji zagadnienia związane ze sposobami dostarczenia medium czynnego i ich znaczeniem w metodach MQL oraz MQCL, dokonując porównania do obróbki na sucho. Można się tutaj jednak zastanowić czy nie byłoby wskazane, aby w głównej mierze odnieść się do procesu obróbki skrawaniem, którym jest przedmiotowe toczenie i na podstawie którego wykonane zostały wszystkie badania ukazane w części praktycznej pracy. Uważam, że nie jest miarodajnym odnoszenie się do procesu wiercenia w przypadku, gdy badania przeprowadzone zostały dla obróbki skrawaniem (toczenie). Trochę brakuje na tym etapie pracy nakierowania lub jednoznacznej informacji jaki rodzaj obróbki będzie przedmiotem badań doświadczalnych. Dobrą praktyką jest nakierowanie w części teoretycznej na poszczególne zagadnienia podejmowane w dalszej pracy, tak aby z wprowadzenia i analizy literatury jednoznacznie nakreślić cel pracy oraz sformułować ewentualne tezy. Globalnie jednak ujmując, przedstawione w pierwszej części rozprawy syntetycznie zebrane informacje z zakresu objętego tematyką dysertacji, stanowią oryginalny wkład w część dotyczącą analizy stanu zagadnienia.

Autorka na podstawie przeprowadzonej analizy literatury sformułowała cele, tezy i zakres pracy, które jednak sprawiają wrażenie uogólnień, a finalnie skupia się na badaniach dotyczących wyłącznie procesu toczenia. Uważam, że znacznie lepiej byłoby skupić się na danej metodzie obróbki, z której otrzymujemy wyniki badań i odnieść je do innych metod niż odwrotnie.

W rozdziale czwartym Doktorantka podejmuje zagadnienia dotyczące badań symulacyjnych parametrów medium czynnego. W tym celu z zastosowaniem systemu CAD sporządziła geometrię dyszy, która niestety nie została opisana na żadnym rysunku. Zawarte są jedynie informacje ogólne, a chyba byłoby wskazane zamieszczenie choćby uproszczonej dokumentacji rysunkowej ze wskazaniem głównych istotnych wymiarów. W rozdziale tym mowa jest również o dyskretyzacji geometrii ukierunkowanej na potrzeby symulacji. W tym przypadku również nie ma żadnych informacji dotyczących parametrów tego etapu, które mają istotny wpływ na wyniki otrzymywanych analiz. Mało precyzyjnie jest podać, że „siatka będzie odpowiednia”. Informacje podano wprawdzie w tabeli 4.3, ale brak jest ich interpretacji. Zaletą tego etapu pracy są natomiast szeroko przedstawione i opisane wyniki symulacji, które kończą syntetyczne wnioski dające informacje do realizacji badań doświadczalnych.

Rozdział piąty opiera się na poprawnie przygotowanym procesie badawczym oraz skrupulatnej analizie otrzymanych wyników z zakresu obejmującego podjętą tematykę. Z punktu widzenia programu badań do szczególnych wartości pracy można wyróżnić szeroko rozwinięte zagadnienia dotyczące:

- wpływu parametrów tworzenia medium czynnego oraz doboru parametrów obróbki opartego o przegląd literatury oraz o symulacje numeryczne,
- wpływu rozmiaru nanocząstek miedzi i stężenia masowego nanocząstek  $Al_2O_3$  wprowadzonych w metodzie MQL na wybrane wskaźniki skrawalności podczas toczenia stopu tytanu,
- wnikliwej selekcji dobranych parametrów wytwarzania opartej o szczegółową analizę chropowatości powierzchni obrabianych względem założonych parametrów procesu wytwórczego,



- analizy stabilności nanopłynów,
- szerokiej analizy drgań narzędzia oraz sił skrawania w odniesieniu do zastosowanych parametrów procesu obróbki,
- rozbudowanej analizy zużycia narzędzia.

Zaproponowane przez Autorkę parametry procesu wytwarzania umożliwiły wnikliwą analizę wpływu zmiany poszczególnych zmiennych procesu na właściwości wytworzonych próbek. Z punktu widzenia aplikacyjności niniejszej pracy doktorskiej, bardzo interesujące jest przeprowadzenie analiz wpływu rozmiaru nanocząstek miedzi i stężenia masowego nanocząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wprowadzonych w metodzie MQL na właściwości wytworzonych elementów w aspekcie topografii powierzchni.

Analizując wyniki przeprowadzonych badań można jednak sformułować kilka uwag dotyczących zagadnień, które mogłyby być rozwinięte lub uzupełnione:

- brak jest dokumentacji rysunkowej próbki badawczej, której zdjęcie zamieszczono wprawdzie na rysunku 5.7, jednak wymiary nie są podane, a byłyby to istotne informacje,
- na podstawie niniejszego rysunku nasuwa się pytanie, czy zastosowanie takiej geometrii próbek badawczych jest w pełni miarodajne, gdyż w zależności od odległości ostrza skrawającego względem punktów mocowania próbki w obrabiarce mogą zmieniać się warunki skrawania,
- w odniesieniu do rysunku 5.7 nasuwa się pytanie czy analizy chropowatości prowadzone były dla poszczególnych segmentów geometrii,
- względem powyższego, jeśli tak to biorąc pod uwagę wykonane analizy oraz geometrię próbek badawczych, słusznym byłoby przeprowadzenie dodatkowych obróbek powierzchni dla pojedynczych „segmentów” eliminujących wpływ na dokładność geometrii ewentualnego odkształcenia wynikającego z długości całkowitej próbki,
- istotnym zagadnieniem byłoby poszerzenie analiz o dokładność geometryczną geometrii wytworzonych próbek.

Dysertacja oparta jest na badaniach i analizie wyników badań, przeprowadzonych w oparciu o założony program z zastosowaniem szerokiego spektrum nowoczesnej aparatury badawczej do przeprowadzenia badań ujętych w rozprawie doktorskiej. Doktorantka w procesie badawczym potwierdziła założone cele pracy.

Przedstawione uwagi w dużej mierze można uznać, że mają charakter dyskusyjny i nie wpływają znacząco na wartość merytoryczną rozprawy. Metodyka badań oraz opracowane modele badawcze stanowią w znacznej części oryginalny wkład Autorki. Stwierdzam jednocześnie, że wysoko oceniam poziom merytoryczny rozprawy ze względu na dużą liczbę przeprowadzonych badań oraz wykonanych na ich podstawie analiz, jak i znaczenie tematu, ale również ze względu na intelektualny wkład Autorki. Jako globalne uwagi dotyczące całości pracy można wymienić występowanie tzw. tekstów wiszących, które pojawiają się na początku części rozdziałów oraz drobnych błędów stylistycznych i interpunkcyjnych. Błędy te mają charakter wyłącznie edycyjny i podobnie jak przedstawione uwagi nie wpływa to na wartość merytoryczną rozprawy, którą oceniam bardzo wysoko. Praca napisana została poprawnym językiem polskim, z dobrą stylistyką, zawiera bardzo bogaty materiał ilustracyjny, zestawienia tabelaryczne, a w tekście zostały poprawnie zamieszczone odniesienia do rysunków, tabel oraz wzorów, jak również odpowiednie powołania na źródła literatury.

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiona do oceny dysertacja dotyczy bardzo ważnego tematu, jakim jest analiza parametrów tworzenia medium czynnego dedykowanego dla procesów obróbki skrawaniem stopów trudnoobrabialnych na przykładzie tytanu Ti6Al4V z zastosowaniem metody zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami. Podjęta tematyka uwzględniając panujące trendy w nauce oraz przemyśle z pewnością jest przyszłościową i może przyczynić się do wzrostu wydajności procesów wytwarzania, zwiększenia trwałości narzędzi oraz zmniejszenie energochłonności procesów obróbkowych, uwzględniając przy tym zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Temat pracy został zatem wybrany w sposób trafny i przemyślany, a zakres dysertacji spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Formalny układ pracy jest prawidłowy, a przedstawiony w niej materiał odnosi się do aktualnej wiedzy, przy czym w wielu obszarach wnosi nowe treści. Dysertacja składa się z części teoretycznej będącej jednocześnie analizą stanu zagadnienia oraz części praktycznej – badawczej wraz z szeroką analizą otrzymanych wyników badań będącą podstawą realizacji założonego i osiągniętego celu naukowego. Zasadnicze cele pracy zostały w pełni osiągnięte w zakresie przyjętym przez Autorkę, a założenia przyjęte w pracy, wyniki badań oraz przeprowadzone na ich podstawie analizy mogą być przedmiotem dalszych prac naukowych. Postawione w początkowej części pracy tezy zostały przez Autorkę właściwie udowodnione. Przytoczone fakty świadczą o kompetencjach Doktorantki w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na szeroką wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne umożliwiające prowadzenie prac badawczych mających charakter naukowy i użyteczny.

Stwierdzam zatem, że praca Pani mgr inż. Natalii Szczotkarz pt. Analiza parametrów tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania z nanocząstkami podczas obróbki stopu tytanu Ti6Al4V (promotor: dr hab. inż. Radosław Maruda, prof. UZ), spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Dodatkowo, po zapoznaniu się z przedstawioną do oceny rozprawą doktorską stwierdzam, że stopień złożoności wykonanych badań oraz poziom merytoryczny pracy jaki został osiągnięty w wyniku jej realizacji jest podstawą do przyznania wyróżnienia.

*Tomasz Dziubiński*